

## Geologia dei Monti della Farnesina (Roma): nuovi dati di sottosuolo dalla galleria Giovanni XXIII

*Geology of the Farnesina Mts. (Rome): new data from the Giovanni XXIII tunnel system*

D. COSENTINO\*, P. CIPOLLARI\*, L. DI BELLA\*\*,  
A. ESPOSITO\*\*\*, C. FARANDA\*, R. FUNICIELLO\*,  
G. GIORDANO\*, E. GLIOZZI\*, M. MATTEI\*,  
I. MAZZINI\*\*\*\*, M. PORRECA\*

RIASSUNTO - Recenti lavori per la costruzione, nella città di Roma, del Passante a Nord-Ovest (Galleria Giovanni XXIII) hanno permesso di raccogliere nuovi dati circa la stratigrafia e l'assetto tettonico del settore dei Monti della Farnesina, in riva destra del F. Tevere. Le gallerie naturali del Passante a Nord-Ovest hanno attraversato la successione plio-pleistocenica di Monte Mario, che è stata suddivisa in due formazioni: la *formazione di Monte Vaticano* e la *formazione di Monte Mario*. Quest'ultima, poggiate in discordanza stratigrafica al disopra della *formazione di Monte Vaticano* (*Marne Vaticane Auct.*), è stata distinta in cinque membri: 1) Limi di Farneto; 2) Sabbie grigie ad *Artica islandica*; 3) Sabbie gialle con panchina; 4) Sabbie gialle con intercalazioni limose; 5) Argille, sabbie e limi con *Cerastoderma*. La forte troncatura erosiva osservata al top della *formazione di Monte Vaticano* suggerisce la presenza di un'ampia lacuna stratigrafica erosivo-deposizionale, tra questa e i soprastanti depositi della *formazione di Monte Mario*. Le analisi biostratigrafiche e paleoecologiche condotte in questo studio hanno messo in evidenza differenze sostanziali tra la *formazione di Monte Vaticano* (*Marne Vaticane Auct.*) e i soprastanti *Limi di Farneto*. Le *Marne Vaticane Auct.* campionate lungo il Passante a Nord-Ovest hanno fornito associazioni di plancton calcareo riferibili allo Zancleano inferiore (3.85-3.58 Ma). L'analisi paleoecologica condotta sulle ostracofaune indica, per le *Marne Vaticane Auct.*, un ambiente batiale superiore, con paleoprofondità comprese tra -300 e -350 m. Per quanto emerso dall'analisi dei nannofossili calcarei, i *Limi di Farneto* sono collocabili al disopra della FO di *medium Gephyrocapsa* (Santerniano inferiore). Inoltre, per la sostanziale assenza di *C. macintyreii* e per la presenza di *B. etnea*, è possibile limitare l'età dei *Limi di Farneto* all'interno dell'intervallo 1,60-1,49 Ma (Santerniano superiore). L'analisi paleoecologica dell'orizzonte basale dei *Limi di Farneto* ha fornito indicazioni di un ambiente infralitorale esterno, con paleoprofondità di circa -40 m e un abbassamento relativo del livello del mare di almeno 260 m. Tale abbassamento relativo ha un'origine prevalentemente tettonica, dal momento che le *Marne Vaticane Auct.* risultano interessate da sistemi di faglie estensionali suturate dalla soprastante *formazione di Monte Mario*. All'interno della *formazione di Monte Mario*, l'analisi paleoecologica condotta sulle ostracofaune ha consentito di riconoscere due diverse sequenze deposizionali, separate da una superficie di discontinuità, legata ad un momento di abbassamento relativo del livello del mare, che definisce il limite *Sabbie gialle con panchina*/*Sabbie gialle con intercalazioni limose*. La base delle *Argille, sabbie e limi con Cerastoderma* corrisponde ad un secondo evento trasgressivo, riconosciuto all'interno della *formazione di Monte Mario*, che ha portato alla deposizione di argille marine di ambiente infralitorale, come la base dei *Limi di Farneto*, caratterizzate, ancora, dalla presenza di *medium Gephyrocapsa*. L'analisi strutturale e le indicazioni del *fabric* magnetico, indicano che l'alto di Monte Mario si è strutturato in due fasi tettoniche estensionali distinte: 1) una prima fase, sviluppata su piani NE-SW, collocabile prima della deposizione della *formazione di Monte Mario* (pre Santerniano superiore); 2) una seconda fase sviluppata su piani NW-SE, in un intervallo temporale compreso tra 750-600 ka. Infine, i caratteri paleomagnetici delle *formazioni di Monte Mario* e di *Monte Vaticano* mostrano componenti di polarità inversa ben definite, attribuite sulla base dei dati biostratigrafici, rispettivamente, all'epoca MATUYAMA ed alla parte superiore dell'epoca GILBERT.

PAROLE CHIAVE: stratigrafia, stratigrafia sequenziale, biostratigrafia, paleoecologia, paleomagnetismo, tettonica, Plio-Pleistocene, geologia delle aree urbane, Roma.

\* Dipartimento di Scienze Geologiche – Università degli Studi “Roma Tre”, Lar.go San Leonardo Murialdo, 1 - 00146 Roma

\*\* Dipartimento di Scienze della Terra – Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Piazzale Aldo Moro, 5 - 00185 Roma

\*\*\* Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via di Vigna Murata, 605 - 00143 Roma

\*\*\*\* Via Mario Menghini, 36 - 00179 Roma

**ABSTRACT** - Recent works for the excavation in Rome of the Giovanni XXIII Tunnel made possible to collect new data about the stratigraphic and tectonic setting of the Monti della Farnesina area, located on the right flank of the Tiber Valley. The tunnel system cut across the Monte Mario Plio-Pleistocene succession, which has been subdivided in two formations: the Monte Vaticano Fm and the Monte Mario Fm. The latter, resting unconformably above the Monte Vaticano Fm (Marne Vaticane Auct.), was further subdivided into five members: 1) Limi di Farneto; 2) Sabbie grigie ad *Arctica islandica*; 3) Sabbie gialle con panchina; 4) Sabbie gialle con intercalazioni limose; 5) Argille, sabbie e limi con *Cerastoderma*. The erosional truncation at the top of the Monte Vaticano Fm suggests the presence of a wide stratigraphic erosional-depositional gap, which divides those deposits from the overlying Monte Mario Fm. The biostratigraphical and palaeoecological analyses have evidenced remarkable differences between the two formations. The Monte Vaticano Fm. clays, sampled during the tunnel operations, provided calcareous nannofossil assemblages referable to the late Zanclean (3.85-3.58 Ma), whereas the palaeoecological analyses carried out on ostracod assemblages indicate an inner bathyal marine environment, with palaeodepths comprised between -300 and -350 m. The silty samples collected at the base of the Monte Mario Fm (Limi di Farneto Member) recorded the presence of calcareous nannofossil assemblages younger than the FO of medium *Gephyrocapsa* (early Santernian). Furthermore, the absence of *C. macintyreii* and the presence of *B. etnea* from the base of the member bracket the age of the Limi di Farneto within the 1.60-1.49 Ma interval (late Santernian). The palaeoecological analyses of the basal levels of the Limi di Farneto has indicated that these deposits sedimented in an outer infralittoral marine environment, with palaeodepths around -40 m, thus pointing to a relative sea-level drop of at least 260 m. This relative sea-level change was mainly driven by tectonics, since the Monte Vaticano Fm is affected by an extensional fault-system sealed by the overlying Monte Mario Fm. Within the Monte Mario Fm the palaeoecological analyses carried out using ostracods lead to recognize two different depositional sequences, divided by an unconformity due to a new relative sea-level drop. This unconformity marks the boundary between the Sabbie gialle con panchina and the Sabbie gialle con intercalazioni limose members. The base of the Argille, sabbie e limi con *Cerastoderma* corresponds to a younger transgressive event within the Monte Mario Fm, which lead to the deposition of marine infralittoral clays that, for the presence of medium *Gephyrocapsa*, can be still ascribed to the Santernian. The structural and magnetic fabric analyses suggest that the Monte Mario structural high was settled during two different tectonic phases: 1) the early phase, developed along NE-SW fault-planes, has been active before the deposition of the Monte Mario Fm (pre- late Santernian); 2) the late phase, developed along NW-SE fault-planes, occurred between 750 and 600 ka. Finally, well-defined reverse polarities characterize the palaeomagnetic record of both the Monte Vaticano and Monte Mario Fms. By means of the biostratigraphical results of this paper, these reverse polarities have been referred to the upper part of the GILBERT epoch (late Zanclean) and to the middle part of the MATUYAMA epoch (late Santernian).

**KEY WORDS:** stratigraphy, sequence stratigraphy, biostratigraphy, paleoecology, paleomagnetism, tectonics, Plio-Pleistocene, geology of urbanized areas, Rome.

## 1 - INTRODUZIONE

La zona di Monte Mario-Monti della Farnesina era nota agli studiosi antichi per i suoi ricchissimi giacimenti di fossili marini, riportati, addirittura, nel Codice Atlantico di Leonardo ("fatti disegnare li nicchi a Monte Mari", dove nicchi=fossili marini) e nei più recenti studi di CERULLI IRELLI (1907-1916) e PORTIS (1893). BROCCHI (1820) produsse la prima sezione geologica attraverso Monte Mario e ne segnalò l'importanza stratigrafica e paleogeografica.

Il rilievo scientifico internazionale della "struttura di Monte Mario" fu però definitivamente riconosciuto a seguito dell'incarico che il XVIII IGC (Londra, 1948) diede ai geologi italiani per proporre aree tipo del limite Pliocene/Pleistocene. La Società Geologica Italiana propose all'assemblea del XIX IGC quattro aree tipo in Italia, tre sul versante adriatico e una sul versante tirrenico. Quest'ultima, la sezione Monte Mario-Acquatraversa, venne illustrata da BLANC *et alii* (1953, 1954).

Da allora in poi la successione di Monte Mario è stata considerata un elemento di riferimento internazionale per gli studi geologici, stratigrafici e paleoambientali del delicato passaggio Pliocene/Pleistocene.

Successivamente, negli anni '70-'80, gli studi a carattere geotermico condotti nell'area a nord di Roma permisero di riconoscere una sostanziale

continuità tra gli alti strutturali sepolti di Cesano-Baccano, sede di importanti serbatoi geotermici ad acqua dominante, il rilievo di Monte Mario nella città di Roma, e più a sud l'alto strutturale di Ciampino, sede dell'attività vulcanica più recente dei Colli Albani. L'assetto profondo dell'alto strutturale che da Monte Mario si estende verso la regione sabatina è stato riconosciuto almeno sino alla caldera di Baccano (FUNICIELLO *et alii*, 1979), anche grazie ad evidenze geofisiche (CAMELI & PIERETTI, 1974; TORO, 1978).

Tale continuità è peraltro testimoniata dalla presenza, nell'area urbana, di fluidi idrotermali a cui sono legati i piccoli giacimenti di fluorite di Vigna Clara, i travertini dell'Acquatraversa e di Tor di Quinto, le acque minerali della Cassia e dell'Acqua Acetosa, le falde a media termalità del Villaggio Olimpico.

Va infine ricordato che la struttura di Monte Mario è considerata come vero e proprio *bedrock* dell'area romana e quindi la parte più solida entro la quale attestare la base delle strutture più delicate e strategiche, le grandi infrastrutture del sottosuolo, opere viarie, linee ferroviarie e metropolitane che, permettendo di salvaguardare la straordinaria ricchezza architettonica e monumentale di alcune parti della città, abatteranno finalmente le condizioni precarie dell'ambiente esterno di Roma, così pesantemente condizionato dalle attività di superficie.

In questo lavoro vengono presentati i risultati di uno studio multidisciplinare condotto sui depo-



siti attraversati dal sistema di gallerie del Passante a Nord-Ovest (galleria "Giovanni XXIII"), che costituisce una delle più lunghe gallerie stradali urbane d'Europa. Questo sistema di gallerie ha attraversato il sottosuolo dei Monti della Farnesina, intercettando la struttura "dell'alto" di Monte Mario. I lavori di scavo della galleria Giovanni XXIII hanno messo in luce, in più punti, il passaggio stratigrafico tra le formazioni di Monte Vaticano e di Monte Mario, consentendo una buona campionatura di questo passaggio e della successione pleistocenica di Monte Mario, descritta in affioramento da numerosi autori nei secoli scorsi e che lo sviluppo della città ha completamente obliterato.

## 2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA ROMANA

Nell'area romana, la successione carbonatica pre-orogena, mesozoico-cenozoica, è stata intercettata da numerosi sondaggi profondi, in corrispondenza di alti strutturali, a profondità diverse, da un minimo di poche centinaia di metri (Via C. Colombo, G.R.A., dati inediti), ad un massimo di oltre 1300 m dal piano campagna (Circo Massimo, SIGNORINI, 1939).

Lungo il margine tirrenico (fig. 1), la sedimentazione terrigena marina del ciclo post-orogeno iniziò con carattere tempo-trasgressivo durante il Messiniano-Pliocene inferiore, al di sopra del substrato meso-cenozoico deformato (FUNICIELLO & PAROTTO, 1978). Lo sviluppo pre- e sin-deposizionale di alti e bassi strutturali ha dato origine a diversi bacini sedimentari, orientati principalmente NW-SE (FUNICIELLO & PAROTTO, 1978; DI FILIPPO & TORO, 1980).

Verso la fine del Pleistocene inferiore la costa laziale assunse approssimativamente il suo aspetto attuale, con una fase di regressione forzata che ha determinato nell'area variazioni nei sistemi deposizionali, da ambienti di mare aperto a continentali (AMBROSETTI & BONADONNA, 1967; BONADONNA, 1968; CONATO *et alii*, 1980, MILLI, 1997).

### 2.1 - STUDI PRECEDENTI SULLA SUCCESSIONE PLIO-PLIISTOCENICA DI MONTE MARIO

La successione stratigrafica attraversata dalla galleria "Giovanni XXIII" è stata oggetto di numerosi lavori, a partire dai primi anni del XIX secolo (BROCCHI, 1820).

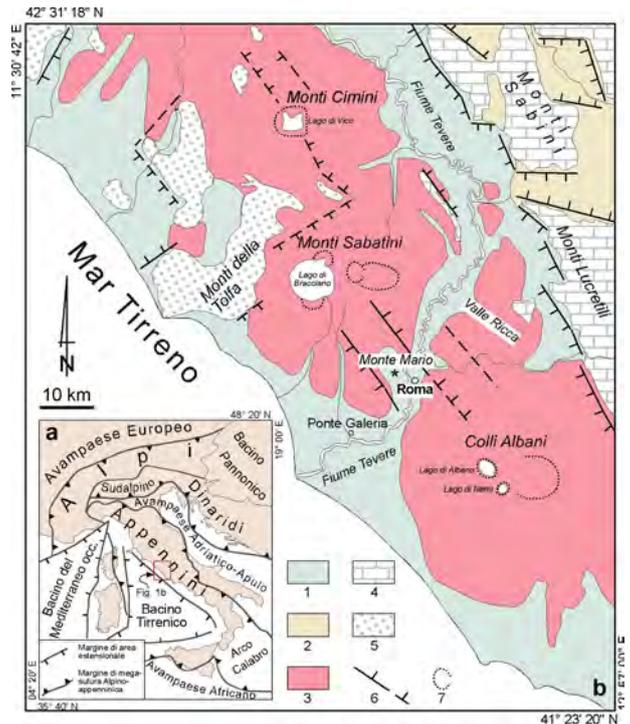


Fig. 1 - a) Schema tettonico regionale del settore centrale dell'area mediterranea; b) schema geologico della fascia tirrenica dell'Italia centrale. 1) Depositi marini e continentali (Pliocene-Olocene); 2) Depositi continentali (Villafranchiano medio-Olocene); 3) Vulcaniti (Pleistocene medio-superiore); 4) Successione carbonatica del dominio sabino (Triassico superiore-Miocene inferiore); 5) basamento cristallino paleozoico e unità alloctone sub-Liguridi (Cretacico-Paleogene); 6) faglia diretta; 7) orlo di caldera o cratere.

- a) Tectonic scheme of the central Mediterranean area; b) geological sketch map of the Tyrrhenian margin of central Italy. 1) marine and continental deposits (Pliocene-Holocene); 2) continental deposits (middle Villafranchian-Holocene); 3) volcanics (upper-middle Pleistocene); 4) carbonates of the Sabina Basin (upper Triassic-lower Miocene); 5) Paleozoic crystalline basement and sub-Ligurian allochthonous units (Cretaceous-Paleocene); 6) normal fault; 7) caldera or crater rim.

I primi lavori specifici sull'area di Monte Mario sono di PONZI, che dal 1864 al 1875 pubblica una serie di articoli che riguardano sia la descrizione stratigrafica della successione, sia le prime interpretazioni dell'assetto strutturale dell'area. In particolare, l'autore riferisce all'Astiano le Sabbie di Monte Mario, in discordanza sulle argille piacentiane di Monte Vaticano; tale passaggio sarebbe indicato da un livello di argille continentali. L'autore osserva dislocazioni nelle marne vaticane e la "non orizzontalità" delle "sabbie gialle". Il sollevamento della struttura "anticlinale", il basculamento e la fagliazione della successione sono riferiti da PONZI ai processi di sollevamento legati all'inizio del "vulcanesimo" nell'area romana.

A parte l'attribuzione cronologica delle varie unità, la stratigrafia proposta da Ponzi per la successione stratigrafica di Monte Mario fu accettata

da tutti gli Autori del secolo scorso.

La “formazione delle Marne Vaticane” è stata attribuita da TERRIGI (1880) al Pliocene sulla base delle faune a Rizopodi.

TELLINI (1893) sottolinea come il limite tra le “Marne Vaticane” e le “Sabbie di Monte Mario” sia marcato da granuli di glauconie e che le “Marne Vaticane” sono intensamente fagliate e sigillate dalle facies del Pleistocene.

BLANC (1942) e BLANC *et alii* (1953) osservano che alle “Marne Vaticane”, del Piacenziano, seguono in concordanza stratigrafica le Sabbie gialle del Pliocene superiore (Astiano), che a loro volta passano a sabbie del Calabriano inferiore. Secondo questi autori la successione completa sarebbe tiltata verso NE, ed erosa da una superficie di età calabriana, su cui poggiano le sabbie di Monte Mario. In seguito all’osservazione di tale discordanza, BLANC (1955) definiva la *fase dell’Acquatrasversa*, come fase di deterioramento climatico tardo pliocenico, responsabile dell’erosione di parte delle già deposte “Marne Vaticane”.

Il rapporto trasgressivo evidenziato da BLANC (1955) è stato riconosciuto anche da AMBROSETTI & BONADONNA (1967), BONADONNA (1968), CONATO *et alii* (1980), MARRA (1993), MARRA & ROSA (1995), BELLOTTI *et alii* (1996).

In particolare, nel lavoro del 1968, Bonadonna riferisce le “Marne Vaticane” al Pliocene inferiore, mentre le “Sabbie grigie ad *Arctica islandica*” e “le Sabbie gialle marine con livelli di panchina” vengono attribuite ad un ciclo trasgressivo del Calabriano *s.l.*, che si chiude con un deposito lagunare costituito da argille verdi a *Cerastoderma lamarki* (REEVE).

CONATO *et alii* (1980) suddividono la *formazione di Monte Mario* in due membri: quello sabbioso di Monte Mario, che affiora lungo la dorsale Monte Mario-Monti della Farnesina, e quello argilloso di Monte delle Picche, ribassato verso occidente per faglia e presente nel substrato della zona di Ponte Galeria. Il primo è attribuito al Santerniano, per la presenza di *Arctica islandica* (LINNAEUS), ed il secondo all’Emiliano, perché contenente *Hyalinea baltica* (SCHROETER). La *formazione di Monte Mario* è, secondo questi Autori, trasgressiva sui depositi pelitici del Pliocene inferiore.

MARRA (1993) chiama Limi del Farneto i depositi limosi descritti da BONADONNA (1968), in località Farneto, alla base dell’unità sabbiosa di Monte Mario.

BELLOTTI *et alii* (1996) riconoscono, per l’area in esame, tre sequenze deposizionali del terzo ordine.

La *sequenza A*, riferibile alle Marne Vaticane, viene attribuita al Pliocene medio (3.6-3.3 Ma), con uno spessore di circa 50 m. La *sequenza B*, riferibile alla Formazione di Monte Mario (età compresa tra 1,6 e 0,8 Ma), è formata dai depositi sabbiosi che affiorano al di sopra della superficie di inconformità al tetto del Pliocene ed hanno, per questi autori, uno spessore di 10 m. I depositi sovrastanti, infine, che secondo gli autori presentano base erosiva e che rappresentano la quasi totalità delle Sabbie gialle di Monte Mario *Auct.*, vengono riferiti a depositi in facies fluviale, di retrospiaggia, di spiaggia, di laguna (*sequenza C* - formazione di Ponte Galeria), per uno spessore di circa 70 m.

BERGAMIN *et alii* (2000), sulla base di uno studio micropaleontologico condotto su tre sondaggi perforati in località Farneto e via Igea, contestano, invece, la presenza di una superficie di *discordanza angolare* tra le argille plioceniche e la *formazione di Monte Mario*. Questi autori interpretano la stratigrafia e l’evoluzione del bacino plio-pleistocenico dell’area di Monte Mario come dovuti ad un lento e progressivo abbassamento del livello del mare tra il Pliocene ed il Pleistocene.

Da un punto di vista strutturale, l’alto di Monte Mario è stato interpretato come un *horst* sollevatosi durante il Pleistocene inferiore, dopo la deposizione delle Sabbie di Monte Mario (PONZI, 1865; VERRI, 1915; BONADONNA, 1968; FUNICIELLO & PAROTTO, 1978; CONATO *et alii*, 1980; MARRA & ROSA, 1995).

MARRA *et alii* (1995) ritengono che l’alto di Monte Mario sia bordato da faglie N-S in corrispondenza della Valle del Tevere, oltre che da discontinuità ad andamento appenninico ed antiappenninico.

GIORDANO *et alii* (2003) e FUNICIELLO & GIORDANO (in stampa) mettono in evidenza come la strutturazione finale dell’alto di Monte Mario, tra 700 e 600 ka, sia stata controllata da un sistema di faglie con direzione NW-SE ed ipotizzano un tasso di sollevamento pari a circa 1 mm /anno.

### 3 - STRATIGRAFIA DELLA SUCCESSIONE ATTRAVERSATA DALLA GALLERIA “GIOVANNI XXIII”

#### 3.1 - INTRODUZIONE

I recenti lavori per la costruzione della galleria “Giovanni XXIII” hanno permesso di raccogliere



nuovi dati circa la stratigrafia dei depositi plio-pleistocenici in uno dei luoghi più tipici e più studiati dell'area romana.

La galleria "Giovanni XXIII", realizzata dall'Astaldi S.p.A., è costituita da un sistema di gallerie naturali (tratto orientale) e artificiali (tratto occidentale), per un totale di circa 3 km (fig. 2).

Questo studio interessa sia le gallerie naturali che, partendo dall'imbocco Farnesina (in prossimità del Ministero degli Esteri), portano all'imbocco Fani (in prossimità dell'incrocio tra Via Fani e Via della Camilluccia), sia le gallerie artificiali che dall'imbocco Fani proseguono verso Via Trionfale.

Il tratto in scavo naturale è caratterizzato da due gallerie, circa parallele (canna interna, da progressiva 532 a 1735; canna esterna, da progressiva 462 a 1700), che attraversano, con andamento circa E-W, la successione di M. Mario-M.ti della Farnesina, dalla *formazione di Monte Vaticano* fino alla porzione medio-superiore della *formazione di Monte Mario*. Il tratto dell'opera realizzato in galleria artificiale attraversa, invece, la porzione sommitale delle *Sabbie gialle di Monte Mario* (Auct.) e i soprastanti prodotti vulcanici dell'apparato sabatino (*Successione di Sacrofano* e *Successione di La Storta*).

In questo studio vengono presentati nuovi dati stratigrafici sulla successione di Monte Mario, ottenuti sia dall'osservazione diretta, in cantiere, dei litotipi interessati dallo scavo, sia dalle analisi di laboratorio effettuate sui campioni prelevati sui fronti di scavo, durante le varie fasi di avanzamento.

### 3.2 - METODOLOGIE

La galleria "Giovanni XXIII" ha attraversato la successione di Monte Mario (*formazione di Monte Mario*, Pleistocene inferiore) e le sottostanti marne e marne argillose della *formazione di Monte Vaticano* ("Marne Vaticane" Auct., Pliocene). Lo studio effettuato ha permesso di suddividere la *formazione di Monte Mario* in cinque membri e di emendare, quindi, la descrizione della *formazione di Monte Mario* fatta da CONATO *et alii* (1980) per la sua formalizzazione. Per la differente posizione stratigrafica, la notevole differenza litologica, ma soprattutto per la differente area geografica d'affioramento, i due membri con cui CONATO *et alii* (1980) dividono la *formazione di Monte Mario*, membri di Monte Mario e Monte delle Picche, a nostro avviso devono essere innalzati a rango di formazioni (*formazione di Monte Mario* e *formazione di Monte delle Picche*).

I membri in cui è possibile dividere la formazione di Monte Mario, così emendata, dal basso verso l'alto sono costituiti da (fig. 3; Tav. 1 f.t.): 1) argille limose e limi con *Arctica islandica* (Sabbie argillose grigie ad *A. islandica* p.p., BONADONNA, 1968; Limi del Farneto, MARRA, 1993; *Limi di Farneto*, questo lavoro); 2) sabbie grigie con *A. islandica* (Sabbie argillose grigie ad *A. islandica* p.p., BONADONNA, 1968; Sabbie grigie ad *A. islandica* Auct., *Sabbie grigie ad A. islandica*, questo lavoro); 3) sabbie gialle con orizzonti di panchina (Sabbie gialle marine di Monte Mario (BONADONNA, 1968), *Sabbie gialle con panchina*, questo lavoro). Queste ultime passano, superior-

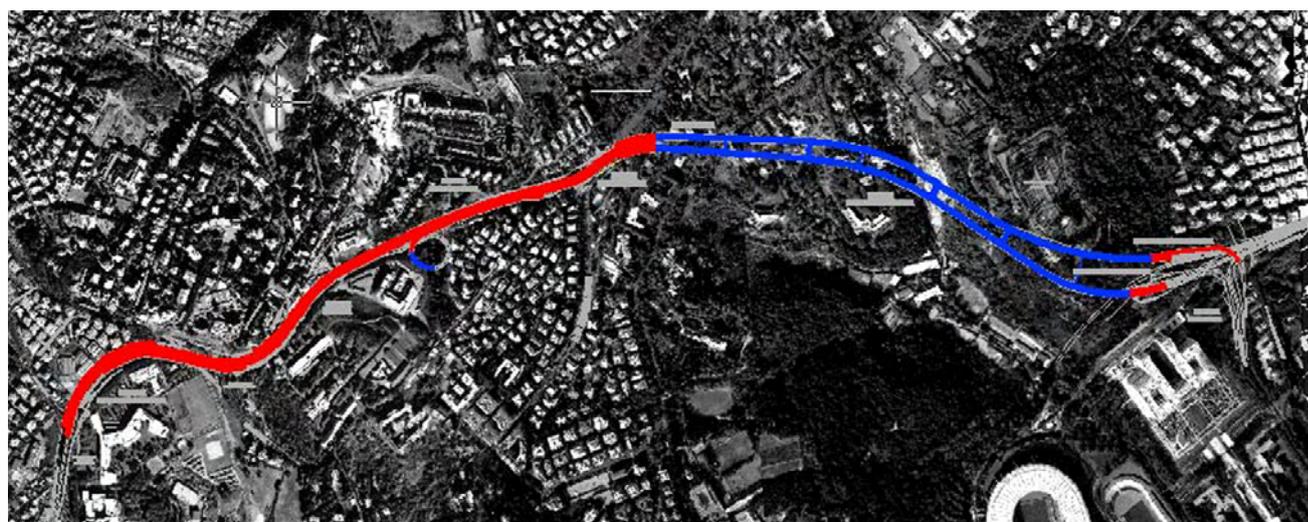


Fig. 2 - Tracciato della galleria "Giovanni XXIII" su base dell'immagine Quickbird 2003 (si noti in basso a destra lo stadio Olimpico per riferimento). In blu è indicato il tratto di galleria naturale ed in rosso il tratto in artificiale.

- The "Giovanni XXIII" tunnel system traced on the Quickbird 2003 image (note the Olympic stadium as reference, lower-right corner). In blue is the natural gallery system, whereas in red are the artificial galleries.

mente, a: 4) bancate di sabbie gialle separate da sottili intercalazioni limose (*Sabbie gialle con intercalazioni limose*, questo lavoro). Lungo il tracciato della galleria "Giovanni XXIII", le *Sabbie gialle con intercalazioni limose* caratterizzano il tratto terminale delle gallerie naturali, verso l'imbocco di Via Fani. Inoltre, nel tratto iniziale della galleria artificiale che da Via Sappada va verso Via Trionfale, queste passano a: 5) argille e argille limose, con abbondante macrofauna marina che, verso l'alto, vengono sostituite da argille limose e limi a *Cerastoderma* (*Argille, sabbie e limi a Cerastoderma*, questo lavoro). Quest'ultimo membro costituisce la porzione sommitale della *formazione di Monte Mario* ed affiora più estesamente al Fosso dell'Acquatrasversa.

Le gallerie naturali e artificiali hanno attraversa-

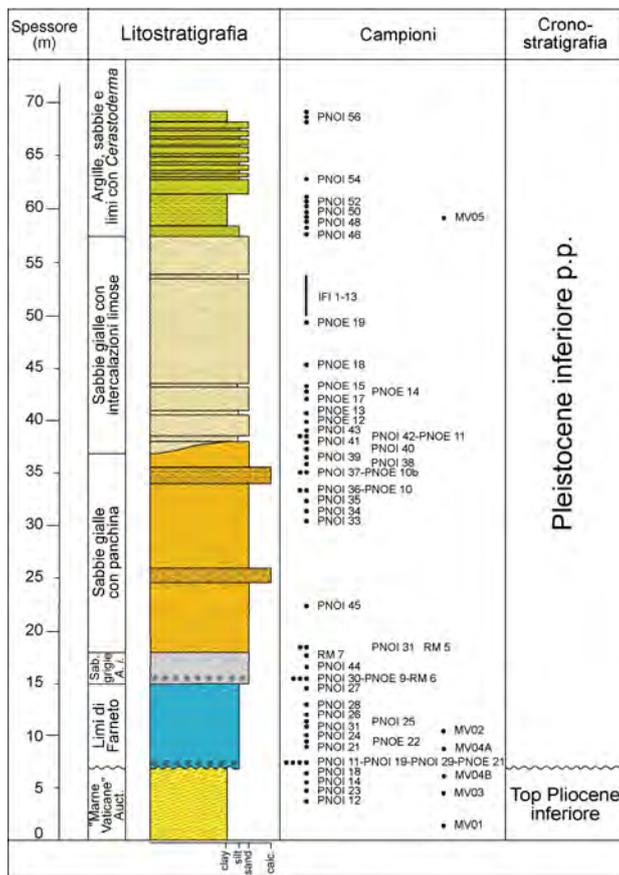
to la *formazione di Monte Mario* intercettando i vari membri con i seguenti spessori: 1) *Limi di Farneto*: 8 m; 2) *Sabbie grigie ad A. islandica*: 3 m; 3) *Sabbie gialle con panchina*: 18 m; 4) *Sabbie gialle con intercalazioni limose*: 22 m; 5) *Argille, sabbie e limi con Cerastoderma*: 12 m (fig. 3, Tav. 1 f.t.).

Per quanto riguarda la *formazione di Monte Vaticano* ("Marne Vaticane" *Auct.*) è costituita di argille marnose grigie e grigio-azzurre stratificate, da consolidate a molto consolidate, alternate a sabbie fini quarzoso-micacee da massive a stratificate, da grigie a giallo ocra, in strati da sottili a banchi. Il residuo è costituito da quarzo, calcite, mica muscovite, rara pirite e ossidi di ferro. Gli strati argillosi hanno una tipica frattura concoide, mentre i livelli limoso-sabbiosi si presentano da sciolti a poco consolidati.

Durante la realizzazione delle due gallerie naturali, dal fronte di scavo sono stati prelevati 82 campioni per le analisi micropaleontologiche e 79 per lo studio paleomagnetico. In particolare, per quanto riguarda i campioni per le analisi micropaleontologiche, 58 sono stati raccolti dalla canna interna (PNOI 1-45 e IFI 1-13) e 24 da quella esterna (PNOE 1-24) (fig. 3). Di questi, 20 provengono dalle marne argillose e marne della *formazione di Monte Vaticano*, 20 dai *Limi di Farneto*, 5 dalle *Sabbie grigie ad A. islandica*, 14 dalle *Sabbie gialle con panchina* e 23 dalle *Sabbie gialle con intercalazioni limose*. Inoltre, nel tratto di galleria artificiale che da Via Sappada porta a Via Trionfale, sono stati prelevati 11 campioni (PNOI 46-57) dal membro superiore della *formazione di Monte Mario* (*Argille, sabbie e limi a Cerastoderma*). In fig. 3 è riportata una copertura parziale della campionatura effettuata.

Per le analisi paleomagnetiche, complessivamente sono state prelevate 79 carote, distribuite nella *formazione di Monte Vaticano*, nei *Limi di Farneto* e nelle *Argille, limi e sabbie con Cerastoderma* della *formazione di Monte Mario* (fig. 3). Le carote sono state orientate *in situ*, secondo le tecniche standard dell'analisi paleomagnetica. Da ciascuna carota sono stati poi ottenuti un numero variabile di campioni cilindrici *standard* (2,2 cm di altezza), che sono stati analizzati in laboratorio.

Nei paragrafi successivi verranno presentati i dati relativi alle analisi effettuate sui campioni prelevati durante le fasi di scavo della galleria "Giovanni XXIII". Su tali campioni sono state effettuate analisi micropaleontologiche delle associazioni a ostracodi, foraminiferi e nannofossili calcarei e analisi paleomagnetiche (AMS e NRM).



## 3.3 - OSSERVAZIONI DI TERRENO

Il limite tra le marne e marne argillose della *formazione di Monte Vaticano* e i *Limi di Farneto* è stato osservato in entrambe le canne (interna ed esterna), ma è stato possibile effettuare una campionatura di dettaglio solo sul fronte di scavo della galleria interna. La natura del contatto tra i depositi pliocenici e quelli pleistocenici (*Limi di Farneto*) è chiaramente a carattere discordante, per troncatura erosiva (figg. 4, 5 e 6). Questo carattere è particolarmente ben evidente lungo la galleria interna, tra le progressive 800 e 1005 (fig. 4). In corrispondenza di queste progressive, il limite tra la *formazione di Monte Vaticano* e la *formazione di Monte Mario* è intercettato in calotta (progressiva 800) e alla base del fronte di scavo (progressiva 1005). Tenendo conto di un'altezza del fronte di scavo di 10 m e di una pendenza del 3% verso SE dell'asse galleria, il limite pre-

senta una pendenza del 2% verso l'imbocco intermedio (NW).

In corrispondenza della progressiva 875, le sottostanti marne della *formazione di Monte Vaticano* mostrano una giacitura nettamente discordante (N160°, 13°). Inoltre, in questo tratto di galleria sono evidenti sistemi di faglie a prevalente rigetto estensionale, che vengono suturate dai soprastanti *Limi di Farneto* (fig. 6).

I 50 cm basali dei *Limi di Farneto* sono caratterizzati da una elevata concentrazione di frammenti conchigliari, tra cui anche *A. islandica*, e granuli di glauconie. Questo orizzonte costituisce un primo livello ad *A. islandica*, ben distinto da quello conosciuto in letteratura, all'interno delle soprastanti *Sabbie grigie ad A. islandica* (BONADONNA, 1968; CONATO *et alii*, 1980).

Il limite con le soprastanti *Sabbie grigie ad A. islandica* è stato intercettato, per la prima volta, in calot-

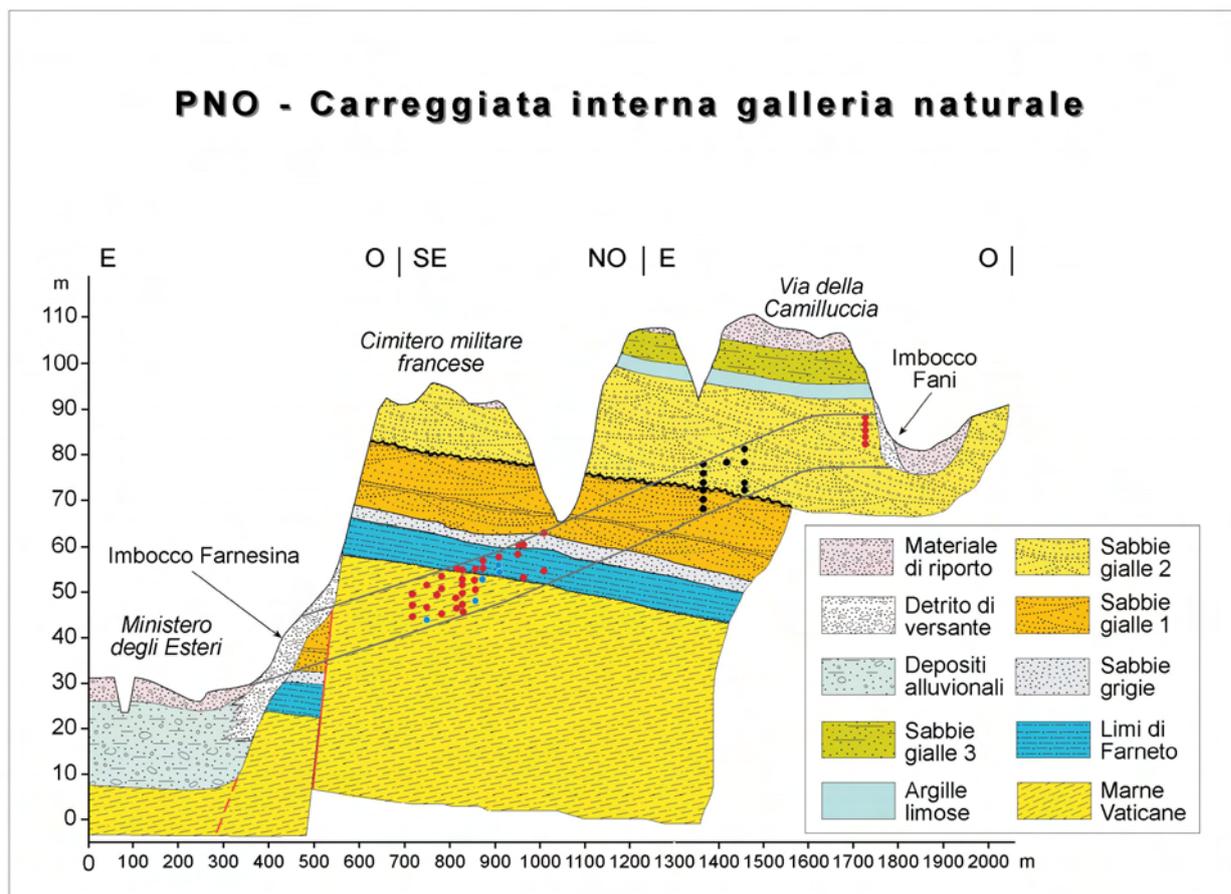


Fig. 4 - Sezione geologica lungo la carreggiata interna della galleria naturale Giovanni XXIII, con ubicazione sintetica della campionatura effettuata durante le operazioni di scavo. In colore rosso sono indicati i campioni prelevati, in carreggiata interna, per le analisi paleontologiche; in colore azzurro è indicata la campionatura, effettuata in carreggiata interna, per le analisi paleomagnetiche; in colore nero è indicata la posizione stratigrafica di una campionatura effettuata, per analisi paleontologiche, in carreggiata esterna.

- Geological section along the Giovanni XXIII inner natural gallery with synthetic location of the samples collected during the tunnelling operations. In red are the samples collected in the inner natural gallery for palaeontological analyses; in blue are the samples collected in the inner natural gallery for palaeomagnetic analyses; in black is the stratigraphic position of the samples collected in the external natural gallery for palaeontological analyses.

ta della galleria naturale interna, in corrispondenza della progressiva 957 m. Lo stesso limite interessa, inoltre, tutto il tratto della galleria artificiale intermedia (Pozzo intermedio), a quote decrescenti andando verso l'imbocco di Via Fani. In tal modo, il limite tra i *Limi di Farneto* e le soprastanti *Sabbie grigie ad A. islandica* è intercettato alla base dell'imbocco intermedio della galleria naturale interna.

La porzione basale delle *Sabbie grigie* è caratterizzata, non solo nella galleria artificiale intermedia,

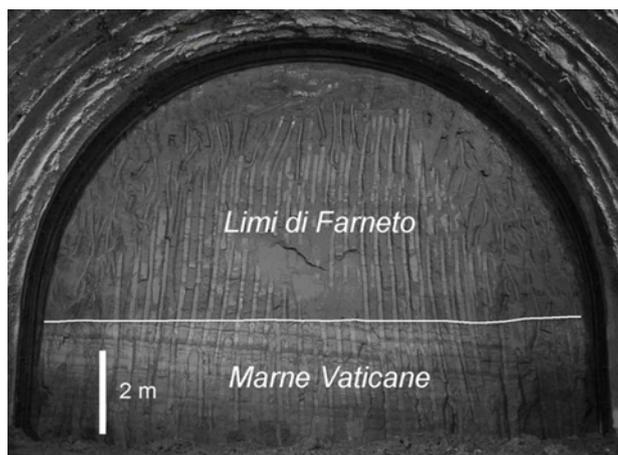


Fig. 5 - Passaggio stratigrafico tra i *Limi di Farneto*, alla base della formazione sanerniana di Monte Mario, e la sottostante formazione di *Monte Vaticano*, intercettato dalla galleria naturale esterna (PNOE 950 m). L'appoggio dei *Limi di Farneto* sulle marne argillose della formazione di *Monte Vaticano* avviene su una superficie di troncatura erosiva. - Stratigraphic boundary between the *Limi di Farneto* and the *Monte Vaticano Fm.* as tunnelled by the external natural gallery (PNOE 950 m). This boundary represents a surface of erosional truncation.

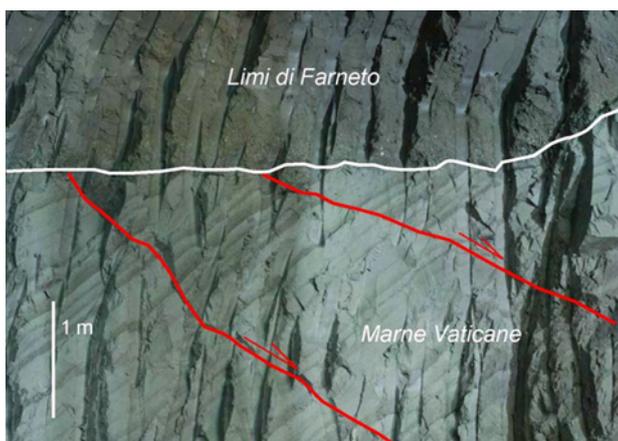


Fig. 6 - Dettaglio del contatto discordante tra i *Limi di Farneto* e le sottostanti marne appartenenti alla formazione di *Monte Vaticano*. In quest'ultime sono presenti faglie a rigetto estensionale, saturate dai soprastanti *Limi di Farneto*. Galleria naturale interna, progressiva 907 m. - Close up of the unconformity between the *Limi di Farneto* and the underlying marls of the *Monte Vaticano Fm.* Fault planes within the *Monte Vaticano Fm.* are sealed by the overlying *Limi di Farneto*. Inner natural gallery, progressive 907 m.

ma in tutto il settore interessato dalla galleria "Giovanni XXIII", da un orizzonte ricco in malacofauna, tra cui molto abbondante risulta essere *A. islandica* (fig. 7).

Si tratta dell'orizzonte ad *A. islandica* segnalato da vari Autori nella successione stratigrafica di Monte Mario e considerato, da molti, come l'orizzonte basale della successione pleistocenica nell'area romana. Per quanto osservato nei fronti di scavo, l'orizzonte ad *A. islandica* presente nelle *Sabbie grigie* risulta essere un secondo orizzonte. La presenza nella stratigrafia della successione di Monte Mario di due livelli contenenti questo ospite nordico è un'assoluta novità nel panorama delle conoscenze sul Quaternario dell'area romana.

Nel tratto di galleria artificiale intermedia, oltre al limite *Limi di Farneto/Sabbie grigie ad A. islandica*, viene intercettato il passaggio stratigrafico tra quest'ultime e le *Sabbie gialle con panchina* (fig. 8).

L'organizzazione interna di queste sabbie è caratterizzata, generalmente, da strutture a festoni, mostranti una stratificazione incrociata a grande scala, sviluppatesi in ambiente marino litorale per la migrazione di dune sabbiose 3-D, e da sottili livelli sabbiosi fortemente cementati (fig. 9).

Nella galleria naturale esterna, in corrispondenza della progressiva 1253 m, circa a mezza altezza del fronte di scavo, è stato possibile osservare il passaggio tra le *Sabbie gialle con panchina* e le soprastanti *Sabbie gialle con intercalazioni limose* (fig. 10).

Il passaggio tra questi due membri avviene attra-



Fig. 7 - Dettaglio dell'orizzonte fossilifero alla base delle *Sabbie grigie* (galleria artificiale intermedia), contenente, tra gli altri molluschi, *Arctica islandica*, un ospite nordico che caratterizza i depositi del Pleistocene inferiore dell'area mediterranea.

- Detail of the *Arctica islandica* fossiliferous horizon at the base of the *Sabbie grigie* (middle artificial gallery), a northern guest that characterizes the lower Pleistocene deposits of the Mediterranean area.





Fig. 8 - Passaggio stratigrafico dalle Sabbie grigie ad *A. islandica* alle soprastanti Sabbie gialle con panchina (galleria artificiale intermedia).  
- Stratigraphic boundary between the Sabbie grigie ad *A. islandica* and the overlying Sabbie gialle con panchina (middle artificial gallery).



Fig. 9 - Porzione intermedia delle Sabbie gialle con panchina, appena sopra il primo orizzonte di panchina intercettato dalla galleria artificiale intermedia. Sono ben visibili alcuni livelli sabbiosi fortemente cementati, caratteristici di questo membro della formazione di Monte Mario.  
- Middle portion of the Sabbie gialle con panchina, just above the first panchina horizon tunnelled by the middle artificial gallery. Some cemented sand levels characterize this member of the Monte Mario Fm.



Fig. 10 - Limite stratigrafico, su superficie erosiva, tra le Sabbie gialle con panchina e le soprastanti Sabbie gialle con intercalazioni limose. Quest'ultimo membro è caratterizzato da sabbie medio-grossolane e intercalazioni di livelli argilloso-limosi ocreaci. Galleria naturale esterna, progressiva 1253 m.  
- Erosional surface at the boundary between the Sabbie gialle con panchina and the overlying Sabbie gialle con intercalazioni limose. This latter member is characterized by medium- to coarse-grained sands with intercalations of yellow silt horizons. External natural gallery, progressive 1253 m.

verso una chiara superficie erosionale, che arriva quasi ad interessare il secondo orizzonte di panchina presente nel sottostante membro della *formazione di M. Mario*.

Il membro delle *Sabbie gialle con intercalazioni limose* è caratterizzato, generalmente, da granulometrie medio-grossolane, spesso interessate da stratificazione incrociata a grande scala. Le bancate sabbiose, generalmente di spessore plurimetrico, presentano un chiaro trend granulometrico di tipo *coarsening upward* e sono separate da sottili orizzonti (15-20 cm) di limi giallastri (fig. 11). In diversi punti, gli orizzonti limosi intercalati alle sabbie sono disposti a drappeggio di una superficie a *ripple* simmetrici, con cui chiude la bancata sabbiosa sottostante. Le bancate sabbiose sono risultate completamente sterili, probabilmente a causa della granulometria medio-grossolana che le caratterizza.

Le analisi micropaleontologiche condotte su alcuni di questi orizzonti limosi hanno mostrato la totale assenza di nannofossili calcarei e/o di altri organismi marini, oppure la sporadica presenza di forme rimaneggiate. Per contro, tutti i livelli limosi esaminati hanno fornito una scarsa, ma significativa ostracofauna costituita da un'associazione a *Cyprideis torosa* (JONES) dominante, accompagnata da forme di tradizione dulcicola come *Ilyocypris gibba* RAMDOHR e *Candoninae*, indicativa di un ambiente oligoalino, con salinità non superiore al 4 ‰.

La *formazione di Monte Mario* attraversata dalla galleria "Giovanni XXIII" termina con argille, argille limose, limi e sabbie, che nella porzione superiore risultano fittamente alternate e contengono



Fig. 11 - Dettaglio del passaggio tra una bancata sabbiosa (in basso) e gli orizzonti limosi soprastanti, a drappeggio di una superficie caratterizzata da *ripple* simmetrici. Sabbie gialle con intercalazioni limose (Galleria naturale interna, progressiva 1700 m).  
- Close up of the upper part of a coarse-grained sand mega-bed overlying by yellow silt horizon draping symmetrical ripples. Sabbie gialle con intercalazioni limose (External natural gallery, progressive 1700 m).



Fig. 12 - Membro delle Argille, sabbie e limi con *Cerastoderma*, porzione basale. Nella foto sono raffigurate argille e limi, ricche in molluschi marini, che, nella parte alta, passano ad alternanze tra limi e sabbie. Galleria artificiale Via Sappada-Via Trionfale.

- Basal portion of the Argille, sabbie e limi con *Cerastoderma* Member, consisting of clays and silts with marine molluscs, which pass upwards (upper part of the photo) to fine- and medium-grained sands and silts. Via Sappada-Via Trionfale artificial gallery.

*Cerastoderma* (Argille, sabbie e limi con *Cerastoderma*). Nella porzione basale di questo membro prevale, generalmente, la frazione più fine (argille ed argille limose, fig. 12).

Nella porzione basale del membro delle Argille, sabbie e limi con *Cerastoderma*, le analisi micropaleontologiche condotte sulle associazioni a ostracodi e a nannofossili calcarei hanno messo in evidenza la presenza di ostracofaune marine, abbondanti e ben conservate, e di una ricca nannoflora caratterizzata, come nei Limi di Farneto, da *medium Gephyrocapsa*.

La porzione sommitale, invece, costituita da livelli limoso-argillosi a *Cerastoderma lamarki*, con guscio generalmente decalcificato, è caratterizzata da una ostracofauna monospecifica a *Cyprideis torosa*, tipica di un ambiente lagunare salmastro.

#### 4 - ANALISI PALEONTOLOGICHE

##### 4.1 - MATERIALE E METODI

I risultati delle analisi di seguito riportate sono relativi solo ai campioni più rappresentativi e significativi della campagna di campionamento effettuata durante la realizzazione della galleria "Giovanni XXIII" (fig. 3). Su questi campioni sono state effettuate analisi sulle associazioni a nannofossili calcarei, ad ostracodi, foraminiferi planctonici e bentonici.

Per quanto riguarda l'analisi delle associazioni a

nannofossili calcarei, da tutti i campioni pelitici prelevati sono state preparate delle *smear slides* seguendo le tecniche *standard* di preparazione. L'analisi è stata effettuata con un microscopio ottico (Zeiss axioplan) ad un ingrandimento 1000x. Sulle associazioni osservate è stata effettuata un'analisi quantitativa, basata principalmente sul conteggio di *taxa* significativi. A tale scopo sono state utilizzate due metodologie di conteggio:

- 1) conteggio su un totale prefissato di un gruppo tassonomico;
- 2) conteggio di un *taxon* (*Sphenolithus*) per unità d'area.

In particolare, sono state contate 100 forme all'interno del genere *Gephyrocapsa* e 100 forme nell'ambito del gruppo *Pseudoemiliania lacunosa* + *Reticulofenestra* spp. Le specie appartenenti ai generi *Calcidiscus* e *Discoaster* sono state conteggiate, rispettivamente, su un totale di 30 e di 50 esemplari.

Per quanto riguarda la preparazione del campione per l'analisi dei foraminiferi e degli ostracodi, questi sono stati trattati in una soluzione d'acqua ossigenata e lavati con setacci a maglia 125  $\mu\text{m}$  e 63  $\mu\text{m}$ , ottenendo due frazioni sulle quali è stata condotta l'analisi qualitativa (foraminiferi) e quantitativa (ostracodi).

Per la biostratigrafia dei foraminiferi si è fatto riferimento agli schemi di CITA (1975), SPROVIERI (1992, 1994) e IACCARINO 1985. La ricostruzione paleoambientale dei foraminiferi è stata basata sui dati di letteratura riguardante l'area mediterranea (JORISSEN, 1988; MURRAY, 1991; SGARRELLA & MONCHARMONT-ZEI 1993; FIORINI & VAIANI, 2001).

##### 4.2 - NANNOFOSSILI CALCAREI

L'analisi a nicols incrociati dei campioni prelevati nelle argille della *formazione di Monte Vaticano* (campioni PNOI 7, PNOI 14, PNOI 16, PNOI 18, PNOI 22, PNOI 23) ha messo in evidenza la presenza significativa (100-150 esemplari per  $\text{mm}^2$ ) di *small Gephyrocapsa*, *P. lacunosa* (KAMPTNER) (con percentuali superiori al 10%, PNOI 7, PNOI 22, PNOI 23) e *H. sellii* BUKRY & BRAMLETTE, presente con frequenze che superano il 50% (PNOI 7, PNOI 22, PNOI 23). *Sphenolithus*. gr. *abies* DEFLANDRE risulta sempre molto raro. A nicols paralleli sono state osservate le associazioni di *Discoaster*, che risultano comparabili in tutti i campioni e sono rappresentate dalle specie: *D. tamalis* KAMPTNER, *D. brouwerii* TAN, *D. asymmetricus*



GARTNER, *D. surculus* MARTINI & BRAMLETTE, *D. gr. variabilis* MARTINI & BRAMLETTE e *D. intercalaris* BUKRY.

I dati emersi dall'analisi dei campioni provenienti dalla formazione di Monte Vaticano indicano un intervallo stratigrafico che si colloca al di sopra della Last Occurrence (LO) di *R. pseudoumbilicus*, mai rilevata in alcun campione, e al di sotto della LO di *D. tamalis*, all'interno della zona MNN16a (RIO *et alii*, 1990). Poiché, inoltre, *D. pentaradiatus* TAN è sistematicamente assente nei campioni esaminati, si ritiene che l'intervallo stratigrafico sia da restringere all'interno della zona di paracme di *D. pentaradiatus*, riconoscibile nella parte bassa della biozona MNN16a (fig. 13). Infine, la presenza, anche se rara, di *S. gr. abies* suggerisce una collocazione alla base della zona MNN16a. Tale ipotesi risulta con-

fortata dall'abbondante presenza di *small Gephyrocapsa* della quale si riconosce un breve intervallo di acme al di sotto della LO di *Sphenolithus spp.* Adottando la proposta di CITA *et alii* (1996), di utilizzare il top del paracme di *D. pentaradiatus* per approssimare il limite Zancleano/Piacenziano, i campioni della formazione di Monte Vaticano possono essere attribuiti alla parte sommitale dello Zancleano.

L'esame dei campioni provenienti dai *Limi di Farneto* (PNOI 8, PNOI 9, PNOI 11, PNOI 19, PNOI 21) mostra associazioni nettamente diverse da quelle appena descritte, che ne indicano un'età pleistocenica. I dati più significativi sono: la presenza di *medium Gephyrocapsa* (> 3.5 mm) sin dai campioni basali, contestualmente all'assenza di *C. macintyreii* (BUKRY & BRAMLETTE). Sulla base di quanto osservato, i *Limi di Farneto* si sarebbero depositi dopo la LO di *C. macintyreii* e prima della FO di *large Gephyrocapsa* (zona MNN 19c, RIO *et alii* 1990). Una recente revisione dei bioorizzonti del Pleistocene (RAFFI, 2002) consente di fornire, per questi depositi, riferimenti cronologici molto ristretti e ben definiti, in quanto, nel Mediterraneo, alla base di *medium Gephyrocapsa* viene riferita l'età di 1.73 Ma, mentre al top di *C. macintyreii* viene riferita l'età di 1.67 Ma.

In ultimo, si evidenzia come le associazioni osservate nei campioni prelevati a diverse altezze stratigrafiche, fino al membro superiore della formazione di Monte Mario (*Argille, limi e sabbie con Cerastoderma*), non cambino rispetto a quanto osservato nei *Limi di Farneto*. Si ritiene, dunque, che l'intera formazione di Monte Mario appartenga alla zona MNN 19c (fig. 13).

4.3 - MICROFORAMINIFERI

4.3.1 - RISULTATI

I campioni basali, prelevati nella formazione di Monte Vaticano (fig. 3) presentano un'associazione faunistica abbondante ed in buono stato di conservazione (PNOI 23); la frazione planctonica è dominante su quella bentonica che, tuttavia è ben differenziata a livello specifico.

Il plancton è rappresentato prevalentemente dalle seguenti specie: *Globorotalia gr. punctulata* (DESHAYES), *Globigerina bulloides* D'ORBIGNY, *Globigerina praecalida* PARKER, *Globigerina falconensis* BLOW, *Globigerina apertura* CUSHMAN, *Globigerinoides trilobus* (REUSS), *Globigerinoides sacculifer* (BRADY), *Globigerinoides gr. obliquus* BOLLI, *Globigerinita glutinata*

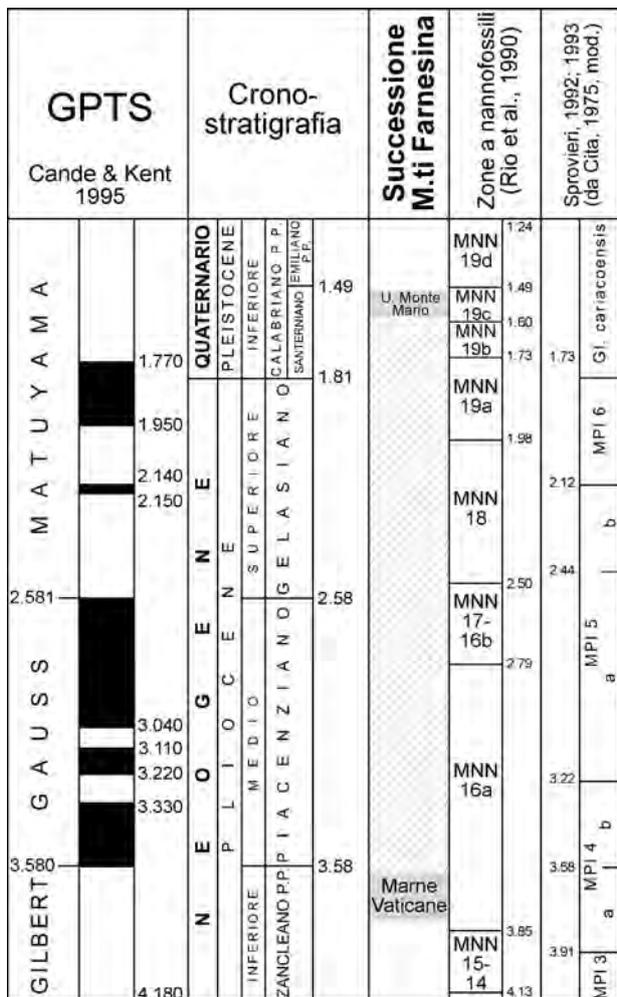


Fig. 13 - Schema magneto-bio-cronostratigrafico di riferimento e posizione delle unità plio-pleistoceniche della successione dei Monti della Farnesina.

- Magneto-bio-chronostratigraphic scheme used as reference in this paper; showing the chronostratigraphic location of the Plio-Pleistocene deposits of the Monti della Farnesina.

(EGGER), *Hastigerina siphonifera* (D'ORBIGNY), *Sphaeroidinellopsis seminulina* (SCHWAGER), *Orbulina universa* D'ORBIGNY. Il campione PNOI14 è caratterizzato da un'elevata concentrazione di *Dentoglobigerina altispira altispira* CUSHMAN & JARVIS, forma presente in livelli noti nell'area laziale tirrenica in sedimenti dello Zancleano superiore al limite con il Piacenziano (CARBONI & DI BELLA, 1997; SPAAK, 1983). L'associazione bentonica è rappresentata da taxa di ambiente circalitorale inferiore come: *Hoeglundina elegans* (D'ORBIGNY), *Anomalinoidea helicinus* (COSTA), *Sphaeroidina bulloides* D'ORBIGNY, *Pyrgo depressa* (D'ORBIGNY), *Lenticulina* spp., *Siphonina reticulata* (CZJZEK), *Dentalina leguminiformis* (BATSCH), *Globobulimina pyrula* (D'ORBIGNY), *Bolivina punctata* D'ORBIGNY, *Bigenerina nodosaria* (D'ORBIGNY), *Stilostomella* spp., *Plectofrondicularia semicosta* (KARRER), *Planulina ariminensis* D'ORBIGNY, *Lagena* spp., *Uvigerina peregrina* CUSHMAN, *Uvigerina rutila* CUSHMAN & TODD.

Dal punto di vista bio- e cronostratigrafico questi sedimenti sono attribuibili alla porzione superiore dello Zancleano, Zona a *Globorotalia puncticulata* (MPI 4a) (fig. 13).

Per quanto concerne l'interpretazione paleoambientale, sia il rapporto plancton/benthos (P/B) che l'analisi dell'associazione bentonica indicano un ambiente profondo relativo al circalitorale-epibatiale.

Nell'ambito della formazione di Monte Vaticano, sono stati individuati livelli con contenuto microfaunistico più scarso e con frazione inorganica più grossolana, prevalentemente quarzosa. In questi livelli, la microfauna presenta uno stato di conservazione mediocre ed una composizione specifica analoga ai litotipi più argillosi della stessa formazione (PNOI 22).

I campioni successivi (*Limi di Farneto*; PNOI 11 - PNOI 27), sia dal punto di vista litologico che microfaunistico, si discostano notevolmente da quelli sottostanti. La base è caratterizzata da abbondanti granuli di glauconie accompagnati da mica, quarzo e calcite.

La frazione organica è costituita, oltre che da foraminiferi, da abbondanti frammenti conchigliari e radioli di echinide. L'associazione a foraminiferi è abbondante (70%) ed in buono stato di conservazione. Il rapporto P/B è sempre a favore del benthos. L'analisi microfaunistica ha evidenziato un ambiente inizialmente infralitorale, dominato da forme costiere [(*Elphidium* spp., *Ammonia inflata* (SEQUENZA), *Ammonia parkinsoniana* (D'ORBIGNY),

*Textularia* spp., *Lobatula lobatula* (WALKER & JACOB), *Florilus boueanus* Nonion *boeanum* (D'ORBIGNY)], caratterizzato da fondali fini per l'elevata frequenza di *Cassidulina carinata* THALMANN, *Bulimina fusiformis* WILLIAMSON, *Bulimina elegans marginata* FORNASINI, *Bulimina marginata* D'ORBIGNY, *Bolivina* spp.; segue una leggera oscillazione, in senso più profondo, fino alla transizione infralitorale/circalitorale o/e circalitorale superiore, evidenziata dall'incremento di forme più profonde quali *Buliminidae*, *Bolivinidae* e *Cassidulinidae*, alle quali si aggiungono specie più tipicamente circalitorali come *Valvulinaria bradyana* (FORNASINI) e *Melonis pompilioides* (FICHEL & MOLL) (PNOI24, PNOI21 e PNOI26).

Il plancton è sempre piuttosto scarso con rari individui di *Globigerinoides ruber* (D'ORBIGNY), *Globigerinoides trilobus* (REUSS) e *Globigerinoides elongatus* (D'ORBIGNY), *Globorotalia inflata* (D'ORBIGNY), *Globorotalia oscitans* TODD, *Globigerina bulloides* D'ORBIGNY, *Turborotalita quinqueloba* (NATLAND).

A questa oscillazione in senso più profondo, segue una lieve riduzione batimetrica con il ritorno a condizioni più francamente infralitorali (PNOI 27), caratterizzate non solo da specie costiere ma anche da forme epifite (*Quinqueloculina* spp., *Triboloculina* spp., *Adelosina* spp., *Rosalina* spp., *Lobatula lobatula*, *Asterigerinata* spp.) che individuano fondali bassi, ben ossigenati e vegetati.

Dal punto di vista bio e cronostratigrafico la presenza, fin dalla base (PNOI 19), di *Bulimina etnea* SEGUENZA permette di attribuire questi sedimenti al Pleistocene inferiore, sottopiano Santerniano (Zona a *Globigerina cariacensis*) (fig. 13).

Superiormente (PNOI 30 - RM7, Sabbie grigie ad *Arctica islandica*), l'associazione a foraminiferi non si discosta qualitativamente da quella sottostante, indicando il persistere di un ambiente di piattaforma interna con batimetrie variabili dalla transizione infra/circalitorale all'infralitorale. La frazione planctonica è sempre piuttosto scarsa ed è rappresentata da *Globorotalia inflata*, *Globorotalia oscitans*, *Globigerina bulloides*, *Turborotalita quinqueloba*. Tra i foraminiferi bentonici, è sempre presente *Bulimina etnea*.

Verso l'alto, a partire dal campione PNOI 31, RM5 (*Sabbie gialle con panchina*) si stabilisce un ambiente di mare basso con fondali ossigenati e vegetati, caratterizzati da associazioni di acque basse e da forme epifite (*Ammonia* spp., *Elphidium crispum* (LINNÈ), *Elphidium decipiens* (COSTA), *Elphidium macellum* (FICHEL & MOLL), *Asterigerinata planorbis* (D'ORBIGNY), *Lobatula lobatula*, *Rosalina bradyi*





CUSHMAN). Il plancton è sempre scarso e rappresentato da forme di taglia ridotta (*Globorotalia inflata*, *Globorotalia oscitans*, *Globigerina* spp., *Orbulina universa*). Superiormente si osserva un trend verso facies sempre più costiere, testimoniate da un'ulteriore riduzione della frazione planctonica e della diversità specifica in quella bentonica (PNOI 45). A partire, infatti, dal campione PNOI 33 fino a PNOI 40 si instaura un ambiente analogo a quello di spiaggia sommersa (*foreshore*) caratterizzato da rari individui, talvolta elaborati, di *Ammonia parkinsoniana*, *Nonion boeanum*, *Lobatula lobatula*, *Elphidium* spp.

A questi seguono litotipi sabbiosi con intercalazioni limose (PNOI 41 - PNOE 19), con un contenuto microfaunistico estremamente scarso e spesso in cattivo stato di conservazione, riconducibile ad un ambiente di spiaggia. In corrispondenza dei livelli più limosi (PNOI 41), tuttavia, è presente un'associazione a bassa diversità specifica, rappresentata da rare *Haynesina depressula* (WALKER & JACOB), *Aubignyna perlucida* (HERON ALLEN & EARLAND), *Ammonia parkinsoniana*, *Elphidium decipiens*, indicativa di un ambiente costiero protetto, probabilmente salmastro, legato a lievi oscillazioni del livello marino. A partire dal campione PNOE 15 prevalgono litotipi sabbiosi prevalentemente sterili, probabilmente legati ad un ambiente di spiaggia emersa (*backshore*).

Nella parte superiore della successione (PNOI 46-PNOI 49; *Argille, limi e sabbie con Cerastoderma*), le associazioni rinvenute sono in buono stato di conservazione e ben differenziate a livello specifico [(*Ammonia* spp., *Florilus boeanus*, *Aubignyna perlucida*, *Nonionella turgida* (WILLIAMSON) ed *Elphidium* spp.)] e identificano un ambiente marino infralitorale.

Dal campione PNOI 50 l'associazione registra un aumento di *Ammonia tepida* (CUSHMAN) e *Ammonia parkinsoniana*, il cui incremento potrebbe essere legato ad una lieve riduzione della salinità ed un maggior apporto di sostanza organica. Superiormente (PNOI 52 - PNOI 57) si registra un'ulteriore riduzione della diversità specifica con associazioni tendenti all'oligotopia. La microfauna risulta infatti costituita da sole tre specie: *Ammonia parkinsoniana*, *Ammonia tepida* e *Aubignyna perlucida*, tipiche di ambienti lagunari costieri con salinità ridotta. Fa eccezione il campione PNOI 54 che è risultato sterile e che segna condizioni di emersione o/e ulteriore chiusura della laguna.

Dal punto di vista cronostratigrafico, la porzione medio-superiore della successione di Monte Mario non fornisce alcuna indicazione, in quanto,

a partire dal campione RM7 (base delle sabbie con panchina) fino al tetto della successione, le associazioni sono costituite da faune di facies.

#### 4.4 - OSTRACODI

##### 4.4.1 - INTRODUZIONE

La fitta campionatura effettuata (fig. 3), unitamente all'utilizzo di un approccio quantitativo basato sulle frequenze normalizzate a 10 g di residuo secco, ha permesso di ricavare delle indicazioni sull'evoluzione paleoambientale della successione affiorante nell'area di Monte Mario, in particolare per quanto riguarda le paleobatimetrie e le paleosalinità (fig. 14). Ai campioni studiati è stata applicata la *Community Structure Analyses* calcolando, per ciascun campione, numero di specie, frequenza e gli indici di ricchezza (indice di MARGALEF), equitabilità e diversità (indice di SHANNON) (fig. 15).

Questi parametri, sulla base della maturità della comunità ad ostracodi, forniscono informazioni

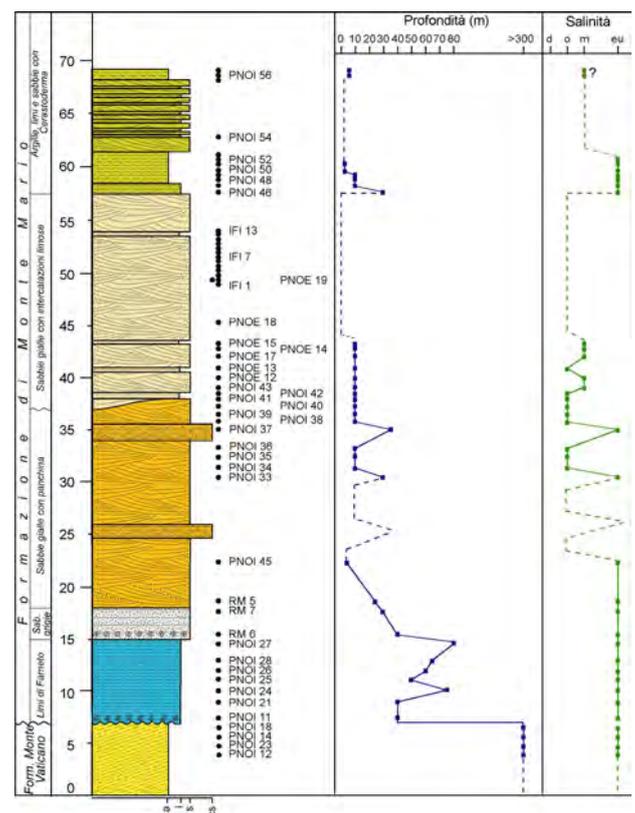


Fig. 14 - Variazioni di paleoprofondità e salinità lungo la successione plio-pleistocenica attraversata dalla galleria Giovanni XXIII, così come emerso dall'analisi paleoecologica delle associazioni ad ostracodi presenti nelle formazioni di Monte Vaticano e Monte Mario.

- *Palaodepth and palaosalinity changes in the Plio-Pleistocene succession tunnelled by the Giovanni XXIII gallery, as result from the paleoecological significance of the ostracod assemblages within the Monte Vaticano and Monte Mario Fms.*

sulla stabilità/instabilità dell'ambiente da cui provengono (DODD & STANTON, 1990; VALENTINE, 1971). Valori elevati di equitabilità e diversità vengono interpretati come segnale di stabilità ambientale; al contrario, basse diversità e bassi valori di equitabilità indicano comunità non mature, che colonizzano ambienti instabili. Vengono inoltre riportati i risultati paleobatimetrici ricavati da FARANDA *et alii*, (2007) sulla base dell'elaborazione dei campioni basali (*formazione di Monte Vaticano, Limi di Farneto, Sabbie grigie ad Arctica islandica e Sabbie gialle con panchina*), applicando la statistica multivariata.

4.4.2 - LE OSTRACOFAUNE DELLA FORMAZIONE DI MONTE VATICANO

Sono stati analizzati complessivamente 4 campioni prelevati all'interno della *formazione di Monte Vaticano* (PNOI 12, PNOI 23, PNOI 14 e PNOI 18) (fig. 3). Le ostracofaune rinvenute sono caratterizzate da una frequenza piuttosto variabile (maggiore in PNOI 14 e minore negli altri campioni) e da associazioni oligotipiche, ma con elevata equitabilità, parametri tipici di associazioni di ambiente di mare profondo, stabile, ma con poche nicchie ecologiche diversificate e limitate risorse trofiche (fig. 15).

Nel complesso, sono state rinvenute 25 specie, tra cui, le più frequenti e comuni sono: *Krithe com-*

*pressa* (SEGUENZA), *Henryhowella sarsi profunda* BONADUCE, BARRA & AIELLO, *Cytherella gibba* AIELLO, BARRA & BONADUCE, *Parakrithe ariminenensis* (RUGGIERI), *Parakrithe declivis* CIAMPO, *Bairdoppilata profunda* AIELLO, BARRA & BONADUCE e *Argilloecia kissamovensis* SISSINGH. Si tratta di associazioni tipiche di un ambiente marino batiale.

La presenza di *H. sarsi profunda*, la meno "profonda" delle specie rinvenute, con distribuzione da 150 a 350 m di profondità (BONADUCE *et alii*, 1999) unitamente a *K. compressa* (che giunge fino a profondità superiori ai 900 m) (BARRA *et alii*, 1998) limita la deposizione della *formazione di Monte Vaticano* ad un ambiente marino batiale superiore, probabilmente intorno ai 300-350 m.

Per quanto riguarda l'età dei campioni esaminati, la presenza di *Cytherella gibba* (distribuita a partire dalla biozona MPI 3), associata a *Parakrithe ariminenensis*, *Bairdoppilata profunda* AIELLO, BARRA & BONADUCE e *Paijenborchella iocosa* KINGMA (che scompaiono a metà della biozona MPI 5) (AIELLO *et alii*, 2000), restringe l'intervallo di deposizione dei campioni esaminati allo Zancleano superiore-Piacenziano.

4.4.3 - LE OSTRACOFAUNE DEI LIMI DI FARNETO

Nei *Limi di Farneto*, caratterizzati da uno spessore di circa 8 m, sono stati prelevati e analizzati 7

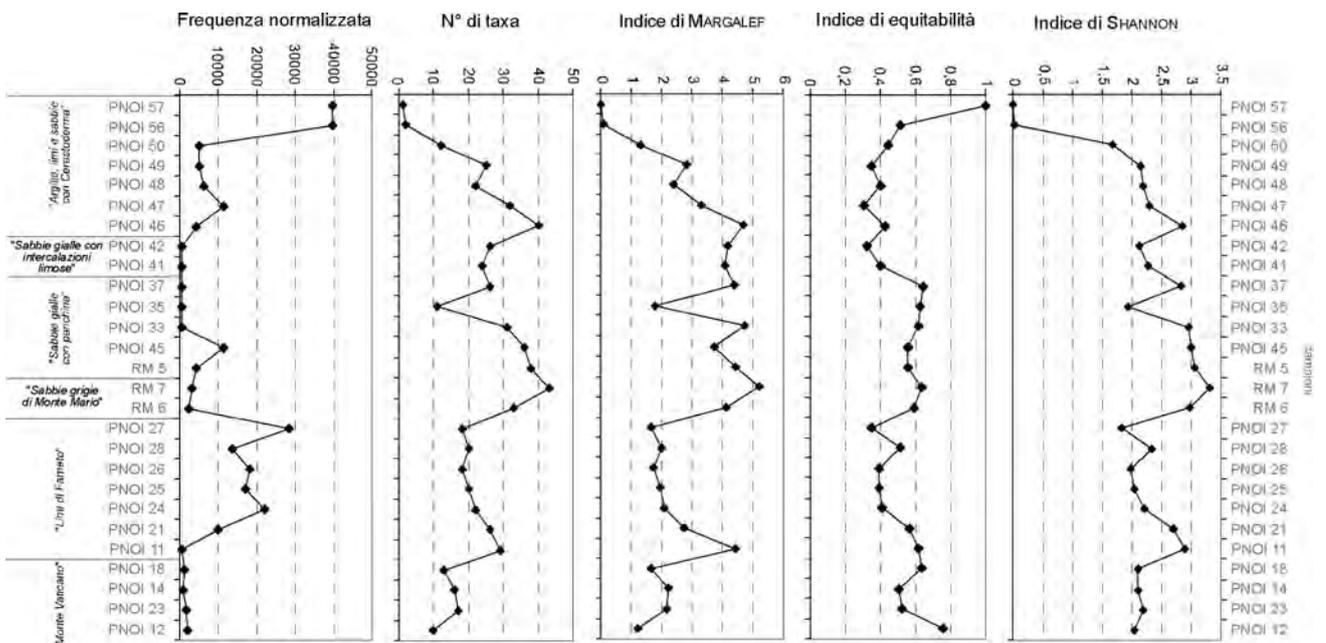


Fig. 15 - Indici della struttura di comunità delle associazioni ad ostracodi rinvenute nella successione plio-pleistocenica attraversata dalla galleria Giovanni XXIII.

- Community structure indexes of the ostracod assemblages from the Plio-Pleistocene succession of the Monti della Farnesina, tunnelled by the Giovanni XXIII tunnel.





campioni (PNOI 11, PNOI 21, PNOI 24, PNOI 25, PNOI 26, PNOI 27 e PNOI 28) (fig. 3). Il campione più basso (PNOI 11) corrisponde al livello posto subito sopra alla discordanza che separa i *Limi di Farneto* dalla *formazione di Monte Vaticano*, ricco di resti di molluschi tra i quali è presente *Arctica islandica* (LINNAEUS) (1° livello ad *Arctica*). Il più alto (PNOI 27) è stato prelevato subito sotto il limite con le *Sabbie grigie ad Arctica islandica* (2° livello ad *Arctica*).

Frequenze e ricchezze sono risultate variabili nei diversi campioni, minime in PNOI 11, massime in PNOI 27. Anche lo stato di conservazione delle valve non è uguale in tutti i campioni: in PNOI 11, in particolare, molte valve sono frammentate o abrase. Tuttavia, salvo questa eccezione, le ostracofaune rinvenute nei *Limi di Farneto* sono, nel complesso, molto abbondanti e ricche (in totale 54 specie) e indicano un ambiente piuttosto stabile nel tempo, nel quale si diversificano numerose micro nicchie, ciascuna con risorse limitate (fig. 15).

Le associazioni rinvenute sono completamente diverse da quelle riconosciute nella sottostante *formazione di Monte Vaticano*. Si tratta per lo più di associazioni di ambiente marino litorale, caratterizzate dall'elevata frequenza di *Aurila (Cruciaurila) cruciata* (RUGGIERI), *Aurila (Eunaurila) punctata* (MÜNSTER), *Callistocythere flavidofusca* (RUGGIERI), *Cimbourila cimbaeformis* (SEGUENZA), *Loxoconcha ovulata* (COSTA), *Sigmatocythere versicolor* (MÜLLER), *Palmoconcha turbida* (MÜLLER), *Leptocythere transiens* PUCCI, *Leptocythere ramosa* ROME, *Costa runcinata* (BAIRD), *Pterigocythereis jonesi* (BAIRD) e *Cytheropteron sulcatum* BONADUCE, CIAMPO & MASOLI.

Nonostante la presenza di numerose specie comuni a tutti i campioni, la loro diversa frequenza nelle varie associazioni è risultata significativa dal punto di vista batimetrico. Infatti, utilizzando la statistica multivariata [*Cluster Analysis* (UPGMA) e *Principal Coordinates Analysis* (PCoA)] FARANDA *et alii* (2007) hanno messo in evidenza ripetute variazioni batimetriche nell'ambito dell'infralitorale esterno-circalitorale interno. In particolare, è stato possibile riconoscere, alla base, l'esistenza di un mare piuttosto sottile (circa 40 m di profondità, campioni PNOI 11 e PNOI 21) che si approfondisce nel campione PNOI 24 fino a circa 70-75 m. Successivamente, le associazioni ad ostracodi testimoniano un ritorno a condizioni infralitorali (circa 50 m, PNOI 25) per poi segnare un graduale, progressivo approfondimento (campioni PNOI 26, PNOI 28 e PNOI 27) fino a circa 80 m

di profondità.

#### 4.4.4 - LE OSTRACOFAUNE DELLE SABBIE GRIGIE AD *ARCTICA ISLANDICA*

Nell'ambito dei 3 m circa di spessore delle *Sabbie grigie ad Arctica islandica* sono stati analizzati 2 campioni, RM 6 e RM 7. Il primo è stato prelevato in corrispondenza del livello ad *Arctica*, localizzato subito sopra al limite concordante con i *Limi di Farneto*, il secondo pochi centimetri al di sotto del contatto con le *Sabbie gialle di Monte Mario Auct.* In entrambi i campioni l'ostracofauna risulta ricchissima (in totale sono state rinvenute 72 specie), ben conservata e caratterizzata da elevata equitabilità, indice che l'ambiente doveva essere stabile, diversificato, maturo, capace di accogliere una ricca comunità limitata nel numero (fig. 15). Le specie presenti, tra le quali dominano *Cimbourila cimbaeformis* (SEGUENZA), *Semicytherura inconguens* (MÜLLER) e *Xestoleberis* spp., sono indicatrici di un mare infralitorale esterno, che gradualmente diminuisce di profondità, da circa 40 a circa 30 m. Rispetto alle ostracofaune dei sottostanti *Limi di Farneto*, compaiono nuove forme come *Aurila (Eunaurila) lacryma* (TERQUEM), *Callistocythere crucifera* (HARTMANN), *Cytherella circumpunctata* CIAMPO, *Celthia quadridentata* (BAIRD), *Phlyctenophora affinis* (SCHNEIDER), *Ruggieria longecarenata* (NAMIAS), *Urocythereis sororcula* (SEGUENZA), *Loxoconcha rubritincta* RUGGIERI, *Semicytherura alifera* RUGGIERI, *Semicytherura acuticostata ventricosa* (MÜLLER), *Semicytherura intorta* (TERQUEM), *Semicytherura paradoxica* (MÜLLER), *Tetracytherura irregularis* (TERQUEM) e *Sigmatocythere napoliana* (PURI). Inoltre, è da sottolineare la presenza di due "ospiti nordici", presenti solo in questo membro, in associazione con *Arctica islandica*: *Cytheropteron (Cytheropteron) depressum* BRADY & NORMAN e *Bythocythere zelandica* ATHERSUCH, HORNE & WHITTAKER. Dal punto di vista paleoambientale un notevole contingente di specie costiere fitali [*Semicytherura* spp., *Sigmatocythere*, *Cytheretta*, *Xestoleberis* spp., *Pontocythere turbida*, *Callistocythere flavidofusca* che raggiunge il 42% delle associazioni suggerisce la presenza di un fondale marino riccamente vegetato (LACHENAL, 1989).

#### 4.4.5 - LE OSTRACOFAUNE DELLE SABBIE GIALLE DI MONTE MARIO *AUCT.*

Le *Sabbie gialle di Monte Mario Auct.* sono rappresentate da una potente successione costituita prevalentemente da sabbie a stratificazione incrociata, spessa circa 50 m, all'interno della quale è possibile

riconoscere, dal punto di vista litologico, tre membri distinti: il primo, inferiore (*Sabbie gialle con panchina*), caratterizzato dalla presenza di livelli di panchina cementata con impronte di bivalvi; il secondo, intermedio (*Sabbie gialle con intercalazioni limose*), costituito da sottili intercalazioni limose che separano spesse bancate di sabbia; il terzo, superiore (*Argille, limi e sabbie con Cerastoderma*), caratterizzato alla base da circa 4 m di argille, seguite da una fitta alternanza di livelli sabbiosi e limosi. Per lo studio delle ostracofaune sono stati prelevati campioni da tutti i termini descritti (fig. 3).

Nella porzione inferiore (*Sabbie gialle con panchina*, spessore circa 18 m) sono stati analizzati 10 campioni (RM 5, PNOI 45, PNOI 33, PNOI 34, PNOI 35, PNOI 36, PNOI 37, PNOI 38, PNOI 39, PNOI 40). I primi tre campioni hanno fornito una ricca ostracofauna marina infralitorale (78 specie), caratterizzata da elevata equitabilità. Tra le specie più frequenti vi sono *Xestoleberis* spp., *Aurila* (*Euaurila*) *lacryma*, *Callistocythere flavidofusca*, *Loxococoncha ovulata*, *Carinocythereis whitei* (BAIRD), *Cytheretta subradiosa* (ROEMER), *Cytheridea neapolitana* KOLLMANN, *Costa runcinata*, *Semicytherura ruggierii* (PUCCI), *Semicytherura incongruens*, (MÜLLER) e *Pontocythere turbida* (MÜLLER). Rispetto alle associazioni rinvenute nelle sottostanti sabbie grigie aumenta il contingente costiero e compaiono nuove forme non presenti precedentemente, come *Callistocythere crucifera* (HARTMANN), *Semicytherura dispar* (MÜLLER), *Cytheropteron latum* (MÜLLER), *Microxestoleberis xenomys* (BARBEITO-GONZALEZ) e *Cyprideis torosa* (JONES). Nell'insieme, le associazioni sembrano indicare un mare poco profondo (20-25 m) e vegetato, che tende gradualmente ad assottigliarsi.

Continuando verso l'alto, le ostracofaune appaiono meno ricche, meno abbondanti e caratterizzate da bassa equitabilità. Le associazioni cambiano: diventano frequenti adulti e giovani di *Cyprideis torosa*, accompagnate da valve *in situ* di *Pontocythere turbida*. Entrambe queste forme sono costiere, o addirittura mesolitorali, ed eurialine (LACHENAL, 1989). In particolare su *C. torosa* è disponibile una vasta letteratura autoecologica che caratterizza questa forma come fortemente eurialina (toltera salinità comprese tra 0,4 e 150 ‰) (NEALE, 1988), che diventa dominante nelle associazioni di acque oligo-basso mesoaline con profondità inferiore ai 10 m (MEISCH, 2000, *cum bibl.*). Nei campioni esaminati, inoltre, diventano numerose le forme dislocate (*Cytherella*, *Aurila*, *Carinocythereis*, *Xestoleberis*), tutte di ambiente marino, riconoscibili in quanto rap-

presentate in genere da una sola valva frammentaria e piuttosto abrasa. A partire dai campioni PNOI 35 e PNOI 36, *C. torosa* diventa dominante. Nel complesso, sulla base delle caratteristiche autoecologiche e sinecologiche delle specie rinvenute, è possibile riconoscere l'esistenza di acque salmastre molto basse (probabilmente con meno di 10 m di profondità).

Apporti di acqua dolce che dovevano diluire ulteriormente le acque marine fino ad una salinità nel campo dell'oligoalino-basso mesoalino si riscontrano maggiormente andando verso l'alto nella successione. Infatti, nella porzione intermedia delle *Sabbie gialle di Monte Mario Auct.* (*Sabbie con intercalazioni limose*), accanto a *Cyprideis torosa* ancora dominante, compaiono ostracodi alotolleranti di tradizione continentale come *Ilyocypris gibba* RAMDOHR, *Ilyocypris getica* MASI, *Candona* (*Neglecandona*) *neglecta* SARS cui si associano, subordinate, *Cypria ophthalmica* (JURINE), *Heterocypris salina* (BRADY) e *Potamocypris fallax* FOX. Questi sono particolarmente frequenti all'interno dei campioni prelevati nelle intercalazioni limose (campioni PNOI 41, PNOI 42 e PNOE 13), ad indicare maggiori apporti periodici di acqua dolce.

Continuando a salire nella successione, a partire dal campione PNOE 17 gli ostracodi diventano sempre più rari, fino a scomparire del tutto (campioni PNOE 18 - IFI 1-13).

La porzione sommitale delle *Sabbie gialle di Monte Mario Auct.* (*Argille, limi e sabbie con Cerastoderma*) inizia bruscamente con circa 4 m di argille limose. Queste, campionate in dettaglio, hanno restituito ostracofaune ricche e ben conservate, caratterizzate da elevata frequenza ed elevata equitabilità. Tra le numerose specie ben rappresentate vi sono *Cytheridea neapolitana*, *Costa runcinata*, *Palmoconcha turbida*, *Leptocythere bacescoi* (ROME), *Pontocythere turbida*, *Carinocythereis whitei*, *Xestoleberis communis* MÜLLER e *Semicytherura ruggierii*. Il rinvenimento di queste associazioni indica un ritorno a condizioni francamente marine infralitorali. Verso l'alto, nei campioni PNOI 50-PNOI 52 la frequenza diminuisce gradualmente e le valve di ostracodi diventano rare.

La fitta alternanza di sabbie e limi che segue è caratterizzata da campioni con ostracofaune estremamente povere e, probabilmente, dislocate (campioni PNOI 53-PNOI 54, con rare valve giovanili di *Cyprideis torosa* e *Candoninae*). Solo gli ultimi 30 cm di successione, rappresentata da limi sottilmente stratificati, torna ad essere ricchissima di ostracodi ben conservati (PNOI 56 e PNOI 57). Si tratta



di un'associazione monospecifica a *Cyprideis torosa* che indica condizioni batimetriche molto basse della lama d'acqua (solo qualche metro di profondità) e salinità molto basse, nel campo dell'oligo-basso mesoalino.

In conclusione, lo studio di dettaglio delle ostracofaune presenti nei depositi attraversati dalla galleria Giovanni XXIII ha messo in luce la presenza di diverse associazioni significative dal punto di vista paleoecologico, soprattutto in termini di salinità e paleoprofondità. Sulla base degli ostracodi, infatti, FARANDA *et alii* (in stampa) hanno ipotizzato batimetrie intorno ai 300-350 m di profondità per la *formazione di Monte Vaticano* (mare batiale interno) e profondità intorno ai 40 m (mare infralitorale esterno) per i primi campioni al di sopra della discordanza (*Limi di Farneto*).

Per quanto riguarda la *formazione di Monte Mario* (*Limi di Farneto*, *Sabbie grigie ad Artica islandica*, *Sabbie gialle di Monte Mario Auct.*) le interpretazioni paleoecologiche delle associazioni ad ostracodi esaminate mostrano l'esistenza di due cicli marini distinti, sormontati, ciascuno, da depositi di ambiente marino marginale a bassa salinità (fig. 14). Il primo ciclo marino è rappresentato dai sedimenti della porzione basale della *formazione di Monte Mario* (*Limi di Farneto*, *Sabbie grigie ad Artica islandica*, e *Sabbie gialle con panchina*), depositatasi in un mare litorale che subisce ripetute oscillazioni batimetriche nel campo dell'infralitorale esterno-circalitorale interno. Questo mare diventa progressivamente sempre più costiero fino a trasformarsi in un ambiente marino marginale (parte alta delle *Sabbie gialle con panchina*, parte bassa delle *Sabbie gialle con intercalazioni limose*) che subisce l'influenza delle acque continentali con conseguente abbassamento della salinità. Lo spesso intervallo sabbioso sterile, riconoscibile nella parte alta delle *Sabbie gialle con intercalazioni limose*, potrebbe rappresentare un ambiente di spiaggia appena sommerso o mesolitorale.

Il secondo ciclo marino inizia alla base delle *Argille, limi e sabbie con Cerastoderma*. Qui si registra la presenza di un mare infralitorale costiero che, rapidamente, si trasforma in una probabile, estesa, laguna costiera salmastra (le cui tracce sono probabilmente rinvenibili anche negli affioramenti del Fosso dell'Acquatrasversa, dove, accanto a *Cyprideis torosa*, sono state rinvenute ricche malacofaune dominate da *Cerastoderma lamarckii*).

Per quanto riguarda l'età dei depositi esaminati, le ostracofaune forniscono delle indicazioni piuttosto generali a causa della mancanza di una biostratigrafia di riferimento per l'area mediterranea.

Tuttavia, queste ben si accordano con i dati biostratigrafici più dettagliati ricavati dai foraminiferi e dai nannofossili calcarei. Le associazioni batiali provenienti dalla *formazione di Monte Vaticano* forniscono un range di età compreso tra lo Zancleano superiore e il Piacenziano. Le associazioni ad ostracodi della *formazione di Monte Mario* sono costituite per la maggior parte da specie ad ampia distribuzione cronologica (Miocene-Pleistocene o addirittura Miocene-Attuale) e molte sono le specie tutt'ora viventi. Tuttavia, tra le forme esaminate, la presenza fin dalla base dei *Limi di Farneto* di *Cytheropteron ruggerii* e *Semicytherura rara* costituisce un vincolo per il limite cronostatigrafico inferiore che non può essere più antico del Santerniano.

## 5 - ANALISI STRUTTURALE

La presenza, nell'area romana, di sistemi tettonici che interessano i terreni argillosi pliocenici e che sono suturati dalle formazioni quaternarie fu osservata in dettaglio, fin dalla fine del secolo XIX, da numerosi autori (PONZI, 1875; TELLINI, 1893; VERRI, 1915). A partire dal secondo dopoguerra, il progressivo abbandono dell'attività estrattiva per laterizi ed il conseguente ritombamento delle cave di argilla in area urbana ha impedito agli autori più recenti di osservare in maniera certa e descrivere quantitativamente i sistemi tettonici che hanno interessato l'area.

Gli scavi realizzati per la costruzione della galleria "Giovanni XXIII" hanno invece consentito di confermare pienamente le osservazioni dei geologi del secolo XIX, e di rilevare in maniera chiara l'esistenza di importanti elementi deformativi che interessano la *formazione di Monte Vaticano*, e che sono invece suturati dalla *formazione di Monte Mario* (fig. 16). Va tuttavia precisato che le osservazioni effettuate nel corso dello scavo delle gallerie si sono svolte con grandi difficoltà a causa del problema della sicurezza sui fronti di scavo e per i tempi ristretti intercorrenti tra le operazioni di scavo e la posa dei rivestimenti.

### 5.1 - DATI ACQUISITI

I dati strutturali rilevati mostrano che: 1) gli elementi principali osservati sono sistemi di faglie coniugate orientate tra NW-SE e NNW-SSE, con immersione prevalente verso NE; 2) elementi



importanti, ma subordinati ed antecedenti, sono orientati NE-SW e N-S; 3) la cinematica delle faglie è a prevalente componente *dip-slip* e carattere estensionale; 4) le faglie appaiono interessare sedimenti già consolidati, in quanto non si osservano deformazioni pre-litificazione (*sensu* MALTMAN, 1994), infatti i piani di faglia sono in genere ben definiti e frequentemente presentano evidenze cinematiche come striature; 5) si osservano sia faglie estensionali a basso angolo (angoli < 45°), sia faglie estensionali ad alto angolo. Le faglie a basso angolo presentano spesso alti angoli di *cut-off*, mentre le faglie ad alto angolo presentano bassi angoli di *cut-off*, suggerendo un possibile basculamento della successione deformata. E' inoltre possibile che la natura argillosa dei terreni, caratterizzata, in assenza di pre-compressione, da angoli d'attrito interno bassi, possa avere favorito l'enucleazione di faglie estensionali a basso angolo.

## 5.2 - LA FAGLIA DELL'ACQUATRAVERSA E LA STRUTTURAZIONE DELL'ALTO DI MONTE MARIO

Il rilievo di Monte Mario è costituito da un alto strutturale a direttrice NW-SE (fig. 1) delimitato verso NE da un sistema di faglie, riconosciute già da Verri nel 1915.

Durante lo scavo della galleria "Giovanni XXIII", questo sistema è stato intercettato all'entrata dell'imbocco Farnesina della canna esterna. Si tratta di una fascia di deformazione ampia circa 50 m e con orientazione N340°-60°, che mette a contatto le argille della *formazione di Monte Vaticano* con le "Sabbie gialle con intercalazioni limose" (Tav. 1 f.t.) della parte alta della *formazione di Monte Mario*. La natura sabbiosa della *formazione di Monte Mario* non ha reso possibile rilevare strie lungo i piani di faglia, ma il corteo di deformazioni associate indica una cinematica essenzialmente estensionale. La ricostruzione effettuata tramite sondaggi, eseguiti durante le diverse fasi di realizzazione della galleria, e i dati di campagna acquisiti nel corso di questo studio, indicano che la base della *formazione di Monte Mario* viene ribassata da quota 58 m s.l.m. a quota 25 m s.l.m. (fig. 4, Tav. 1 f.t.).

Lungo la canna esterna, tra le progressive 530 e 545, è stato incontrato un secondo importante elemento tettonico a carattere estensionale, con direzione N320°, 60°, che ribassa di circa 12 m verso NE la successione. Questo elemento tettonico può essere seguito verso NO, lungo il Fosso dell'Acquatrasversa, che ne eredita la direzione, e fa

sì che a NE di esso affiora solo la *formazione di Monte Mario*.

Elementi associati al sollevamento dell'alto strutturale sono stati identificati su basi stratigrafiche anche più a sud, ed in particolare faglie a direttrice NW-SE sono state cartografate tra la zona di P.le Clodio ed il quartiere Balduina (FUNICIELLO & GIORDANO, 2005), per accomodare le brusche variazioni di quota della *unconformity* tra le *formazioni di Monte Vaticano* e di *Monte Mario*.

In particolare, la zona di Via Cadlolo, dove già BONADONNA (1968) segnalava, a quota 110 m s.l.m., la presenza di argille plioceniche basculate, costituisce la culminazione strutturale dell'alto di Monte Mario, che invece trova la sua massima quota topografica più a nord, presso l'Osservatorio Astronomico, con 144 m s.l.m.

Il rigetto minimo cumulato su questo sistema di faglie, che si può calcolare tra la zona della Balduina ed il fosso dell'Acquatrasversa, è di circa 85 m.

## 6 - ANALISI PALEOMAGNETICHE

### 6.1 - CAMPIONAMENTO

Il campionamento per le indagini paleomagnetiche è stato effettuato in quattro differenti località nel tratto orientale della galleria "Giovanni XXIII" (figg. 3 e 4).

Il primo sito (MV01) è stato campionato nella *formazione di Monte Vaticano*, durante i lavori di scavo del *by-pass* pedonale, in corrispondenza della progressiva 663 (fig. 4). Sono state prelevate 19 carote, distribuite in un intervallo stratigrafico di circa 1,5 m, costituito da un'alternanza di livelli argillosi grigi e sabbioso-limosi, con spessori variabili da pochi centimetri fino ad un massimo di 40 cm. Il campionamento ha interessato solo le argille. Nella parte alta dei livelli sabbiosi sono spesso presenti delle strutture sedimentarie riconducibili a sismiti. In affioramento essi appaiono inclinati di circa 10° verso NE. In questo sito non vi sono evidenze di fratture o faglie.

I siti MV02 e MV03 sono stati campionati in corrispondenza della progressiva 825 della canna esterna, e hanno interessato rispettivamente i *Limi di Farneto* della *formazione di Monte Mario* e le marne della *formazione di Monte Vaticano*. Su questo fronte di scavo era ben visibile il contatto discordante tra i depositi pliocenici ("Marne Vaticane" Auct.) e



quelli pleistocenici (*Limi di Farneto*) (fig. 3). Il campionamento è stato effettuato successivamente alla messa in sicurezza della parete di scavo e subito dopo il montaggio delle centine e al getto dell'arco rovescio, in due differenti nicchie scavate appositamente. Il sito MV02 è stato campionato nella parte basale dei *Limi di Farneto*, circa 1 m sopra la discordanza, in un intervallo di circa 70 cm, da cui sono state prelevate 10 carote. Si tratta di limi e limi argillosi in giacitura suborizzontale.

Il sito MV03 (fig. 3) è stato campionato circa 4 m al di sotto della discordanza e ha interessato le sottostanti marne della *formazione di Monte Vaticano*. In questo sito sono state campionate 10 carote in un intervallo stratigrafico di 80 cm, costituito in prevalenza da marne e argille grigie. La giacitura delle marne, qui debolmente fratturate, sembra immergere di circa 10° verso NW.

Un'altra sezione stratigrafica rappresentativa del limite "Marne Vaticane" (*Auct.*)/*Limi di Farneto* è stata analizzata sulla parete di scavo del *by-pass* carabile, in corrispondenza della progressiva 863 della canna esterna. In questo caso sono state prelevate 32 carote su una sezione stratigrafica di circa 4,5 m, che comprende, dal basso verso l'alto, le marne della *formazione di Monte Vaticano*, debolmente inclinate verso W, per uno spessore di 3,5 m e la parte basale dei *Limi di Farneto*, in giacitura suborizzontale, per 1 m di spessore. Nei limi sono state prelevate 11 carote (sito MV04A), mentre nelle marne sono state campionate 18 carote (sito MV04B). Nei 20-30 cm basali dei *Limi di Farneto*, caratterizzati da una elevata concentrazione di frammenti di conchiglie, tra cui anche *A. islandica*, non è stato possibile ottenere campioni utilizzabili per le analisi paleomagnetiche.

Il sito MV05 è stato campionato all'imbocco di Via Fani, presso Via Sappada, dove la galleria naturale lascia il posto a quella artificiale del tratto occidentale e intercetta i depositi sommitali della *formazione di Monte Mario*. In particolare, il sito MV05 è stato campionato in un livello limoso delle *Argille, limi e sabbie con Cerastoderma*, da dove sono state prelevate 12 carote. Si tratta di limi giallastri, in giacitura orizzontale, debolmente fratturati e con tracce evidenti di ossidazione.

## 6.2 - METODOLOGIA

I campioni prelevati sul terreno sono stati sottoposti ad una serie di analisi paleomagnetiche nel laboratorio di Paleomagnetismo del Dipartimento

di Scienze Geologiche dell'Università Roma Tre e presso il Laboratorio di Paleomagnetismo dell'ETH di Zurigo. Le analisi hanno riguardato lo studio del *fabric* magnetico attraverso la misura dell'Anisotropia della Suscettività Magnetica (AMS) e lo studio della loro magnetizzazione rimanente, allo scopo di determinarne la polarità magnetica.

Lo studio dell'AMS in campo debole rappresenta un metodo efficace e non distruttivo per la definizione dell'orientazione preferenziale dei minerali all'interno di una roccia. La metodologia è stata applicata con successo allo studio di sedimenti argillosi, depositi all'interno di bacini estensionali (SAGNOTTI *et alii*, 1994; MATTEI *et alii*, 1997, 1999; CIFELLI *et alii*, 2004) dove la lineazione magnetica è in generale perpendicolare alle principali faglie normali e, in qualche modo, ricalca la direzione di *stretching* responsabile della formazione dei bacini stessi. L'utilizzo di tale metodologia permette di definire la storia deformativa di sedimenti poco o affatto deformati alla scala dell'affioramento, e di sopperire alla mancanza dei classici indicatori della deformazione utilizzati nella geologia strutturale.

I campioni utilizzati per lo studio dell'AMS sono stati successivamente sottoposti a processi di smagnetizzazione che hanno permesso di individuare le componenti principali di magnetizzazione acquisite dai sedimenti durante la loro storia geologica. I campioni sono stati analizzati sia attraverso la smagnetizzazione termica che a campo alternato (AF). Nella prima, i campioni vengono smagnetizzati per incrementi di temperatura fino alla completa rimozione della magnetizzazione rimanente originaria. Durante la smagnetizzazione a campo magnetico alternato, invece, si ha la progressiva smagnetizzazione della magnetizzazione rimanente attraverso l'applicazione di un campo magnetico alternato. Ad ogni *step*, sia termico che a campo alternato, viene misurata l'intensità e l'orientazione della magnetizzazione rimanente al fine di consentire la definizione della Magnetizzazione Caratteristica Rimanente (ChRM).

## 6.3 - RISULTATI OTTENUTI DALL'ANALISI DELL'AMS

Per tutti i campioni è stata misurata la suscettività magnetica media [ $k_m = (k_{max} + k_{int} + k_{min}) / 3$ ], che fornisce una stima del contributo complessivo dei minerali ferro- e paramagnetici alla suscettività misurata. I valori di  $k_m$  variano in un intervallo compreso tra 100 e  $196 \times 10^{-6}$  SI (Tab. 1).



In particolare, i *Limi di Farneto* sono caratterizzati dai valori più elevati, mentre i campioni provenienti dalla *formazione di Monte Vaticano* e dai limi delle *Sabbie gialle*, nella parte alta della *formazione di Monte Mario*, hanno valori di suscettività significativamente più bassi (fig. 16). I valori di suscettività misurati suggeriscono che l'anisotropia magnetica è principalmente controllata dalla componente paramagnetica (es. clorite) e che le formazioni con valori di suscettività più bassi sono, probabilmente,

caratterizzate da un aumento della frazione carbonatica. I valori della suscettività media sono proiettati in funzione del valore del grado di anisotropia (P), che dipende dalla forma dell'ellissoide dell'AMS. La mancanza di correlazione tra questi due parametri dimostra che la forma ed orientazione degli ellissoidi dell'AMS non sono condizionate dalla quantità e dalla natura dei minerali magnetici, ma riflette esclusivamente la distribuzione preferenziale dei minerali all'interno della roccia e quin-

Tab.1 - Lista dei parametri dell'anisotropia calcolati per ciascun sito.  
- List of anisotropy factors computed at each site.

SITO	Fm / membro	N	$k_m$	L	F	T	P
MV01	"Marne Vaticane" Auct.	19	122 (7)	1,003 (0,002)	1,044 (0,006)	0,884 (0,059)	1,047 (0,007)
MV03	"Marne Vaticane" Auct.	10	145 (24)	1,004 (0,002)	1,042 (0,011)	0,806 (0,079)	1,046 (0,012)
MV04B	"Marne Vaticane" Auct.	18	139 (14)	1,005 (0,008)	1,035 (0,01)	0,746 (0,252)	1,041 (0,014)
MV04A	Limi di Farneto	11	165 (31)	1,006 (0,003)	1,016 (0,009)	0,437 (0,233)	1,021 (0,011)
MV02	Limi di Farneto	10	165 (14)	1,004 (0,003)	1,026 (0,009)	0,696 (0,23)	1,030 (0,009)
MV05	Argille, limi e sabbie con <i>Cerastoderma</i>	12	109 (6)	1,003 (0,002)	1,007 (0,002)	0,393 (0,406)	1,010 (0,001)

Nota: Per ogni riga è riportato il valore medio di ogni parametro per ciascun sito (deviazione standard in parentesi)

N = numero di campioni

$k_m = (k_{max} + k_{int} + k_{min}) / 3$ , (Suscettività media, in  $10^{-6}$  SI)

$L = K_{max} / K_{int}$  (lineazione magnetica)

$F = K_{int} / K_{min}$  (foliazione magnetica)

T = fattore di forma

$P = K_{max} / K_{min}$  (grado di anisotropia)

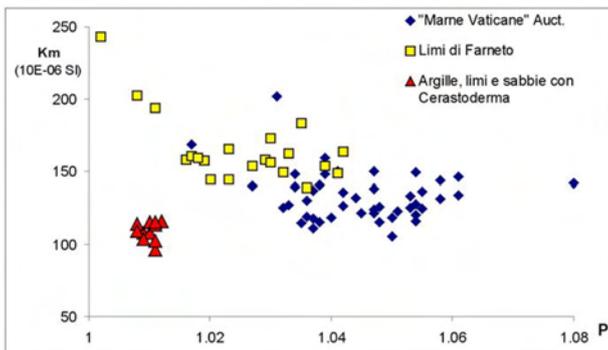


Fig. 16 - Suscettività media (km) versus grado di anisotropia (P). Nel diagramma si notano i diversi valori di suscettività per ogni litologia campionata, e la mancanza di un rapporto diretto tra suscettività media e fattore di anisotropia.

- Mean susceptibility value (km) versus anisotropy degree (P) diagram. The susceptibility values are different for each sampled unit, and there is no correlation between mean susceptibility and anisotropy degree.

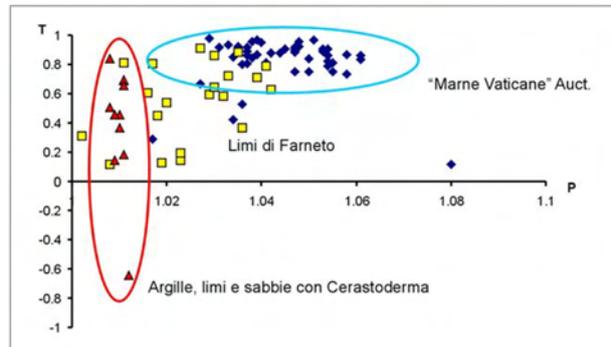


Fig. 17 - Fattore di forma (T) versus grado di anisotropia (P). E' evidente la scarsa definizione della forma dell'ellissoide per i campioni delle *Argille, limi e Sabbie con Cerastoderma* (in rosso), in netto contrasto con la forma oblata dei campioni della *formazione di Monte Vaticano* (in blu).

- Shape parameter (T) vs. degree of anisotropy (P) diagram. The AMS ellipsoids is poorly defined for samples from *Argille, limi and Sabbie with Cerastoderma* (red), conversely samples from *formazione di Monte Vaticano* (blue) show a well defined oblate fabric.



di il suo grado di deformazione. La forma dell'ellissoide dell'AMS è generalmente di tipo oblatto ( $T > 0$ ), con valori del grado di anisotropia  $P < 1,1$ . Questi valori sono tipici di sedimenti indeformati o ai primi stadi di deformazione. In particolare, il grado di anisotropia è estremamente basso per i campioni provenienti dal membro delle *Argille, limi e Sabbie con Cerastoderma* che mostrano anche una estrema variabilità nella forma dell'ellissoide della suscettività magnetica ( $-0,7 < T < 1$ ). I campioni provenienti dalla *formazione di Monte Vaticano* mostrano, invece, ellissoidi ben definiti e di forma fortemente oblatto ( $T < 1$ ), con valori di  $P > 1,03$ . I campioni dei *Limi di Farneto* presentano caratteri di transizione tra le due tipologie già descritte. È evidente, quindi, che le diverse unità campionate sono caratterizzate da una notevole variazione del *fabric*

magnetico, che riflette principalmente il diverso grado di deformazione raggiunto (fig. 17). Gli ellissoidi dell'AMS definiti per ogni sito mostrano una foliazione sempre ben definita e sub-parallela alla stratificazione. La lineazione magnetica è invece ben definita nella parte inferiore della successione, che comprende la *formazione di Monte Vaticano* (fig. 18a), mentre è dispersa nel piano di foliazione nei depositi dei *Limi di Farneto* e delle *Argille, limi e sabbie con Cerastoderma* (figg. 18b e 18c). In tutti i siti campionati nelle "Marne Vaticane" (*Auct.*), la foliazione magnetica è parallela alla stratificazione, mentre la lineazione magnetica è orientata generalmente secondo una direzione NW-SE, con un *fabric* magnetico di tipo misto (sedimentario + tettonico), legato sia ai processi di compattazione che a una successiva tettonica estensionale, con una dire-

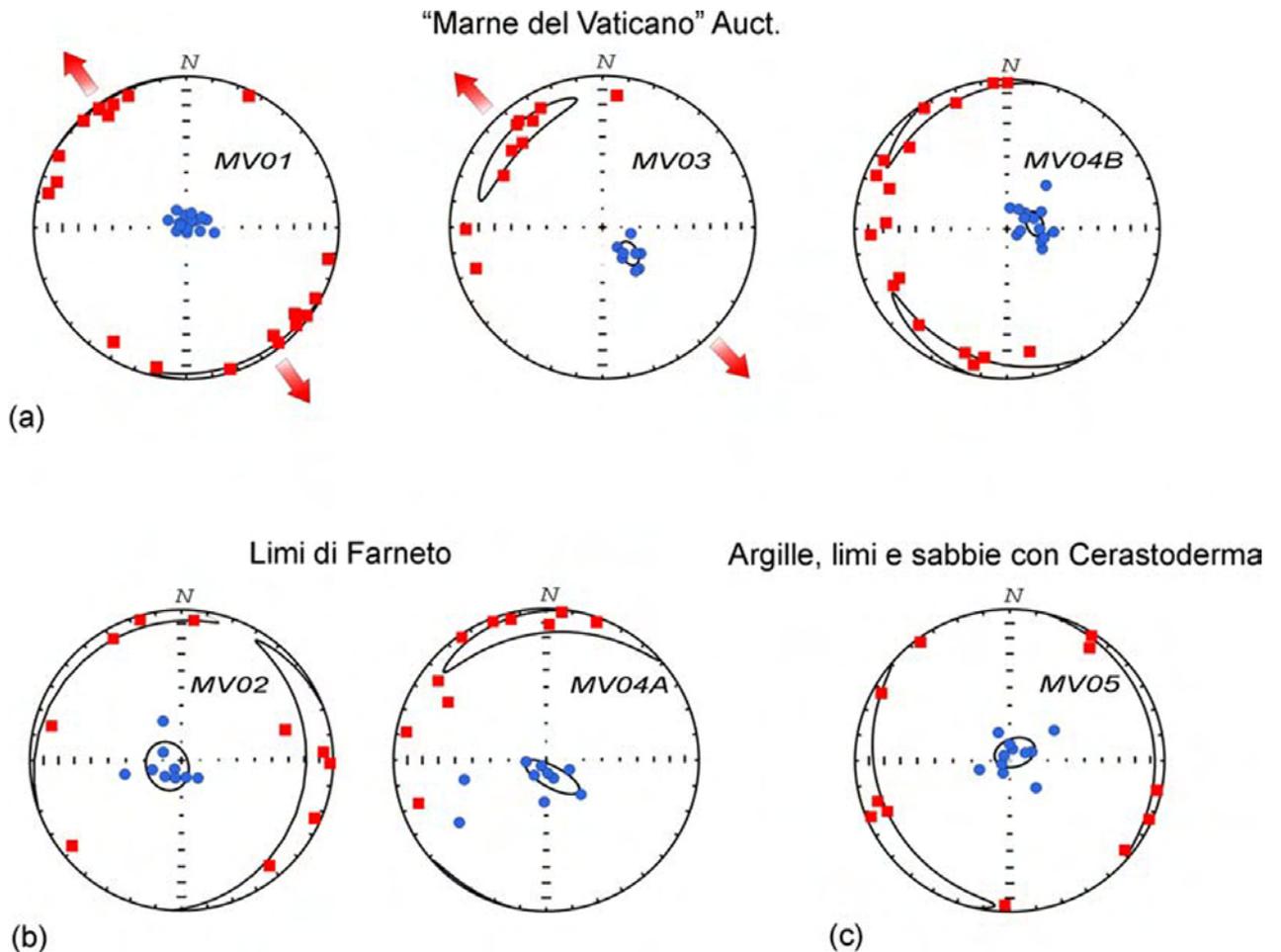


Fig. 18 - Proiezioni equiareali, emisfero inferiore, dei risultati dell'AMS *in situ* dei siti appartenenti alla *formazione di Monte Vaticano* (a), dei *Limi di Farneto* (b) e delle *Argille, limi e sabbie con Cerastoderma* (c). Assi di massima suscettività,  $K_{max}$  (quadrati rossi); assi di minima suscettività,  $K_{min}$  (cerchi blu). Le frecce in rosso indicano la direzione di estensione dedotta dall'orientazione degli assi di massima suscettività.

- Low-field AMS plots, for sites from *formazione di Monte Vaticano* (a), *Limi di Farneto* (b), and *Argille, limi e sabbie con Cerastoderma* (c). Red squares and blue circles represent maximum and minimum axes, respectively. Axes are plotted relative to geographic coordinates on lower hemisphere, equal area projections. Red arrows indicate the stretching direction deduced by the orientation of the magnetic lineation.

zione di estensione orientata NW-SE (fig. 18a). I *Limi di Farneto* e le *Argille, limi e sabbie con Cerastoderma* presentano invece una lineazione dispersa sul piano di foliazione magnetica, con un *fabric* esclusivamente di tipo sedimentario, che suggerisce come la deformazione tettonica non sia stata sufficientemente intensa da causare una riorganizzazione del *fabric* magnetico (fig. 18b e 18c).

#### 6.4 - RISULTATI OTTENUTI DALL'ANALISI DELLA MAGNETIZZAZIONE NATURALE RIMANENTE

In letteratura, non esistono studi specifici sui caratteri paleomagnetici del limite Plio-Pleistocene nell'area romana. I dati pubblicati sono, infatti, piuttosto frammentari e riguardano porzioni limitate delle successioni stratigrafiche, relative al limite stratigrafico tra Pleistocene inferiore e medio, oppure al Pliocene superiore.

I primi studi paleomagnetici condotti sul Pliocene dell'area romana sono stati effettuati da ARIAS *et alii* (1980, 1990) sulla sezione stratigrafica di Valle Ricca, poco distante dal centro abitato di Monterotondo, 14 chilometri a NE di Roma.

La successione studiata contiene un intervallo a polarità normale, nella parte bassa della sezione in affioramento, ed è stato correlato dagli autori al *subchron Reunion* (ARIAS *et alii*, 1980). Dieci anni dopo ARIAS *et alii* (1990) riconoscono nella stessa località, in un sondaggio a -80 m dal piano campagna, un'inversione di polarità, che viene interpretata come il passaggio GAUSS-MATUYAMA (2.58 Ma).

Successivamente, gli studi condotti da

FLORINDO & SAGNOTTI (1995) e BORZI *et alii* (1998) hanno dimostrato che l'intervallo a polarità normale della sezione affiorante di Valle Ricca, corrisponde in effetti ad una variazione mineralogica piuttosto che ad un'effettiva inversione del campo magnetico. Partendo da questi dati, integrati con i dati di un'analisi biostratigrafica effettuata da ARIAS *et alii* (1990) e da CARBONI *et alii* (1993), la successione di Valle Ricca, a polarità inversa, è stata correlata all'epoca MATUYAMA e datata al Pliocene superiore.

Una sezione stratigrafica rappresentativa del Pleistocene inferiore-medio è stata analizzata da MARRA *et alii* (1998), nel settore a SW della città di Roma, presso la località di Ponte Galeria. Gli autori suddividono la successione continentale di Ponte Galeria in due sequenze deposizionali.

L'analisi paleomagnetica condotta su un intervallo ubicato nella parte alta della sequenza basale dell'Unità di Ponte Galeria (PG1) ha mostrato polarità inversa ed ha consentito di attribuire questa sequenza alla parte alta dell'epoca MATUYAMA. L'intervallo argilloso ubicato nella parte basale della sequenza PG2 ha invece polarità normale ed è stato attribuito alla parte basale dell'epoca BRUNHES.

Nel presente studio l'indagine paleomagnetica è stata condotta a cavallo del passaggio "Marne Vaticane" (*Auct.*) - *Limi di Farneto*, allo scopo di definire i caratteri paleomagnetici al passaggio tra le unità del Pliocene e quelle del Pleistocene inferiore. In particolare sono stati analizzati i campioni dei siti MV01, MV03, MV04B provenienti dalla *formazione di Monte Vaticano* e i siti MV04A e MV02 provenienti dal membro dei *Limi di Farneto*. I campioni del sito MV05, prelevati dalle *Argille, limi e sabbie con Cerastoderma* della *formazione di Monte Mario*, presentavano un'intensità di magnetizzazione troppo bassa, e non hanno fornito risultati utilizzabili per la definizione della loro polarità magnetica.

Campioni rappresentativi per ogni sito sono stati inizialmente smagnetizzati sia per campo alternato che termicamente. Sulla base dei risultati ottenuti si è successivamente preferito procedere per i restanti campioni alla smagnetizzazione a campo alternato. I dati ottenuti durante il processo di smagnetizzazione sono stati proiettati su diagrammi equiareali e ortogonali (ZIJDERVELD, 1967) e successivamente elaborati utilizzando metodi statistici *standard*. Le direzioni medie del vettore paleomagnetico per ogni sito sono state calcolate prima e dopo la correzione tettonica (Tab. 2). L'intensità

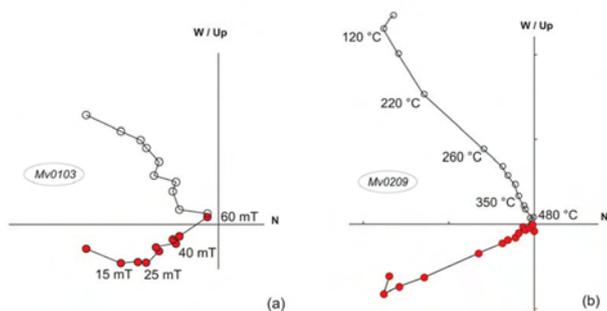


Fig. 19 - Diagrammi di proiezione ortogonale di due campioni rappresentativi delle "Marne del Vaticano" *Auct.* (a) e dei *Limi di Farneto* (b), smagnetizzati rispettivamente per campo alternato (AF) termicamente. I cerchi rossi rappresentano le proiezioni del vettore paleomagnetico sul piano orizzontale, i cerchi bianchi sul piano verticale.

- Vector component diagrams (Zijderveld diagrams, in geographic coordinates) for the progressive alternating field and thermal demagnetization of two representative specimens from "Marne del Vaticano" *Auct.* (a) and *Limi di Farneto* (b) respectively. Open circles and red solid symbols represent projection on the vertical and horizontal planes, respectively.



Tab. 2 - Sintesi dei risultati paleomagnetici.  
- *Synthesis of paleomagnetic results.*

SITO	Fm / membro	N	Decl., Incl.		Decl., Incl.		$\alpha_{95}$	k
			Before tilt	After tilt	Before tilt	After tilt		
MV01	"Marne Vaticane" Auct.	12	171.4	-40.5	174.7	-31.6	13	12.1
MV03	"Marne Vaticane" Auct.	6	166.9	-55.6	156.8	-37.8	25	8.3
MV04B	"Marne Vaticane" Auct.	4	195.5	-33.3	185.3	-39.1	29	13.7
MV04A	Limi di Farneto	7	203.1	-66.4	197.1	-61.2	9.4	43.1
MV02	Limi di Farneto	8	198.9	-60.8	194.6	-55.4	12.6	20.2

N = numero di campioni con direzioni stabili;

Decl. = Declinazione;

Incl. = Inclinazione;

$\alpha_{95}$  = semi-angolo dell'ellisse calcolato al 95% di confidenza rispetto alla direzione media;

k = parametro di precisione;

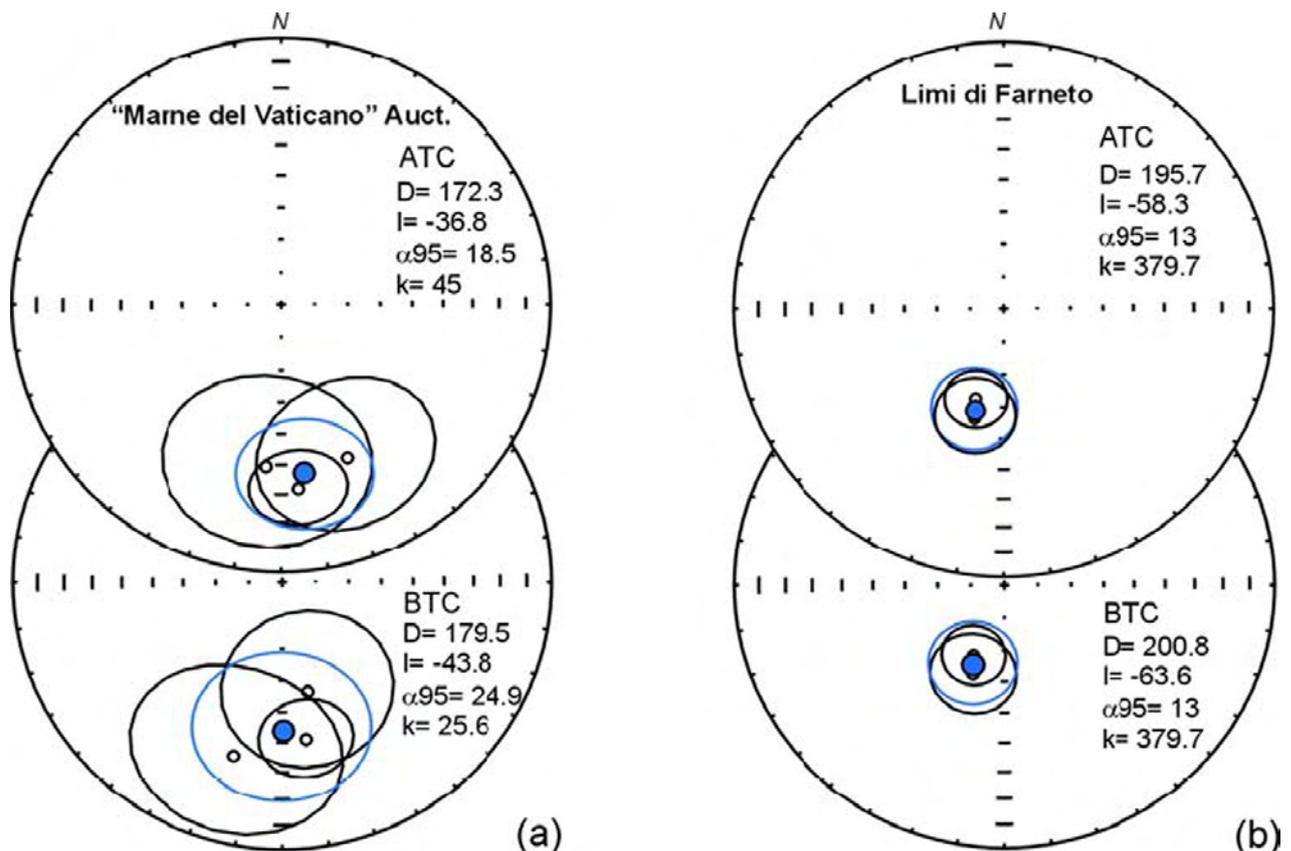


Fig. 20 - Proiezioni equiareali (emisfero inferiore) delle direzioni medie per i siti della *formazione di Monte Vaticano* (a) e dei *Limi di Farneto* (b). Le direzioni medie sono state calcolate prima (proiezioni in basso, BTC) e dopo (proiezioni in alto, ATC) la correzione tettonica. Le ellissi rappresentano la proiezione del cono di confidenza al 95% intorno al valore medio. I cerchi in blu rappresentano la direzione media calcolata per ogni formazione.

- *Equal area projection of the site-mean directions for sites from Formazione di Monte Vaticano* (a) and *Limi di Farneto* (b). White and black symbols represent projection onto upper and lower hemisphere, respectively. The mean directions have been calculated before tectonic correction (BTC) and after tectonic correction (ATC). Ellipses are the projections of the 95% cone about the mean directions. Blue circles represent the mean direction calculated for the two formations.

della magnetizzazione naturale rimanente (NRM) varia da  $1.1 \times 10^{-4}$  a  $3.2 \times 10^{-2}$  A/m. Nella maggior parte dei campioni esaminati, i diagrammi di smagnetizzazione mostrano la presenza di una componente di magnetizzazione ben definita, a polarità inversa, isolata per temperature comprese tra 120°-520°C (smagnetizzazione termica) e per campi compresi tra 5-70 mT (smagnetizzazione a campo alternato). In alcuni casi questa componente viene evidenziata dopo l'eliminazione di una componente di bassa coercività e/o temperatura, interpretata come una magnetizzazione viscosa acquisita nel campo magnetico attuale (fig. 19a).

Attraverso l'analisi delle componenti principali di magnetizzazione è stato possibile definire una ChRM sia nei depositi marnosi della *formazione di Monte Vaticano* (siti MV01, MV03 e MV04B), sia nei sovrastanti *Limi di Farneto* (siti MV02 e MV04A).

Le direzioni medie risultano ben definite nella maggior parte dei siti e solo nei siti MV03 e MV04B l' $\alpha_{95}$  supera i 13°, a causa dello scarso numero di campioni che presentano direzioni stabili (Tab. 2). In particolare, i campioni del sito MV04B mostrano comportamenti instabili durante il processo di smagnetizzazione, probabilmente a causa di una mineralogia magnetica particolarmente complessa, vista la loro vicinanza alla discordanza angolare. In corrispondenza di tale discordanza, infatti, sono stati individuati diversi livelli sabbiosi, bruni, debolmente alterati.

I risultati paleomagnetici dimostrano che entrambe le unità campionate sono caratterizzate da una polarità inversa. In particolare, la direzione media ottenuta dall'analisi dei tre siti effettuati nelle "Marne Vaticane" prima della correzione tettonica è Decl.=179.5, Incl.=-43.8 ( $\alpha_{95}$ =24.9 e k=25.6), mentre dopo la correzione tettonica è Decl.=172.3, Incl.=-36.8 ( $\alpha_{95}$ =18.5 e k=45), con un miglioramento significativo dei parametri statistici (fig. 20a). Questi risultati dimostrano che la ChRM è stata acquisita precedentemente alle fasi tettoniche responsabili della disarticolazione della struttura e ne suggeriscono un'origine primaria.

La direzione media ottenuta dai campioni provenienti dai *Limi di Farneto*, prima della correzione tettonica, è Decl.=200.8, Incl.=-63.6 ( $\alpha_{95}$ =13 e k=379.7), mentre la direzione media ottenuta dopo la correzione tettonica è Decl.=195.7, Incl.=-58.3 ( $\alpha_{95}$ =13 e k=379.7) (fig. 20b).

Sulla base dei risultati paleomagnetici ottenuti e sul complesso dei dati biostratigrafici presentati in questo lavoro, è possibile ascrivere la polarità

inversa riconosciuta nei *Limi di Farneto* (Pleistocene inferiore) all'epoca MATUYAMA, e quella riconosciuta nella *formazione di Monte Vaticano* (Pliocene inferiore, Zancleano superiore) alla parte sommitale dell'epoca GILBERT (fig. 13).

## 7 - DISCUSSIONE E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Recentemente, BERGAMIN *et alii* (2000), in seguito all'analisi biostratigrafica di tre sondaggi (Farneto A, Farneto B e Via Igea) ubicati nella stessa zona della galleria "Giovanni XXIII", hanno proposto un modello stratigrafico alternativo per il settore di Monte Mario. In particolare, detti Autori riconoscono la presenza di *markers* pleistocenici (*Globigerina cariacensis*, *Globigerina calabra*), ben al di sotto del livello ad *Arctica islandica* e sin dalla base dei sondaggi, che, per quota e per litologia, secondo gli Autori sarebbero dovuti appartenere alle *Marne Vaticane*. BERGAMIN *et alii* (2000), pertanto, reinterpretano la successione dell'alto di Monte Mario, non già come una successione pleistocenica discordante sul Pliocene, ma come interamente attribuibile al Pleistocene inferiore. Il livello ad *Arctica islandica* non viene dunque più ritenuto l'unità trasgressiva che segna l'inizio del ciclo pleistocenico. Nell'ambito di tale successione, la variazione litologica da argille a sabbie viene legata ad un moderato arretramento della linea di costa nel Pleistocene inferiore.

Un quadro molto diverso da quello suggerito da BERGAMIN *et alii* (2000) può essere ricostruito a partire dalle osservazioni effettuate sui fronti di scavo della galleria "Giovanni XXIII" e dai risultati delle analisi paleoecologiche e biostratigrafiche condotte sui campioni prelevati lungo la galleria.

Innanzitutto, è confermato il rapporto di discordanza angolare tra la successione pleistocenica di Monte Mario e le sottostanti marne argillose plioceniche, già segnalato da vari autori (PONZI, 1872; BLANC, 1942; AMBROSETTI & BONADONNA, 1967; BONADONNA, 1968; CONATO *et alii*, 1980; MARRA, 1993; MARRA *et alii*, 1995).

L'evidente troncatura erosiva osservata al top della *formazione di Monte Vaticano* suggerisce la presenza di un'ampia lacuna stratigrafica erosivo-depositiva tra queste e i soprastanti depositi della *formazione di Monte Mario*.

Le analisi biostratigrafiche e paleoecologiche condotte in questo studio mettono in evidenza dif-



ferenze sostanziali tra le marne argillose della *formazione di Monte Vaticano* e i soprastanti *Limi di Farneto*. Le prime hanno fornito associazioni di nannoplanton calcareo e foraminiferi planctonici riferibili al top Zancleano. L'analisi paleoecologica condotta sui foraminiferi e sulle ostracofaune indica, per questa formazione, un ambiente batiale superiore, con paleoprofondità comprese tra -300 e -350 m.

I *Limi di Farneto*, per quanto emerso dall'analisi dei nannofossili calcarei, sono collocabili al disopra della FO di *medium Gephyrocapsa*, che nell'area mediterranea è calibrata a 1,729 Ma (RAFFI, 2002). Inoltre, per la sostanziale assenza di *C. macintyreii* e per la presenza di *Bulimina etnea*, nonché per l'assenza di *Hyalinea balthica*, è possibile limitare l'età dei *Limi di Farneto* all'interno dell'intervallo 1,6-1,49 Ma (Santerniano superiore).

L'analisi paleoecologica dell'orizzonte basale dei *Limi di Farneto* ha fornito indicazioni di un ambiente infralitorale esterno, con paleoprofondità di circa -40 m e un abbassamento relativo del livello del mare di almeno 260 m, rispetto alla profondità deposizionale delle sottostanti marne argillose plioceniche. Tale abbassamento relativo ha un'origine prevalentemente tettonica, dal momento che il substrato pre-pleistocenico (*formazione di Monte Vaticano*) risulta interessato da sistemi di faglie estensionali suturate dal soprastante ciclo discordante della *formazione di Monte Mario*.

Questa fase tettonica, collocabile dopo lo Zancleano superiore e prima del Santerniano superiore, è responsabile della genesi della troncatura erosiva al top della *formazione di Monte Vaticano*, che definisce il limite di sequenza inferiore per il ciclo discordante della *formazione di Monte Mario*.

All'interno dei *Limi di Farneto*, l'analisi paleoecologica condotta sulle ostracofaune mostra una doppia oscillazione infralitorale-circalitorale, con il secondo ciclo più profondo del primo (fig. 13). Un tale carattere è riconducibile a un *set* di parasequenze retrogradanti, tipico delle *Transgressive Systems Tract* (TST). Il limite inferiore dei *Limi di Farneto* ha tutte le caratteristiche di una superficie di trasgressione (ts). Esso, infatti, è caratterizzato da un'alta concentrazione di frammenti conchigliari, che possono indicare momenti di sottoalimentazione del bacino, in seguito a un evento trasgressivo e alla conseguente formazione di una *ravinement surface*. In quest'ottica, c'è inoltre da ricordare che nei due metri basali dei *Limi di Farneto* sono presenti abbondanti granuli di glauconie, generalmente indicativi di ridotto apporto terrigeno e caratteristici anche

della porzione basale delle TST.

Il massimo approfondimento del sistema deposizionale si riscontra a ridosso del limite *Limi di Farneto/Sabbie grigie ad A. islandica*, che in un'ottica stratigrafico-sequenziale corrisponde alla superficie di massima trasgressione (mfs). Al disopra di quest'ultima superficie, l'analisi paleoecologica delle ostracofaune ha mostrato un chiaro *trend* progredente che coinvolge tutta la restante porzione di successione esaminata. Da quanto emerso, quindi, le *Sabbie grigie ad A. islandica* e le soprastanti *Sabbie gialle con panchina*, dovrebbero essersi deposte durante la fase di alto stazionamento relativo del livello del mare (HST) del ciclo discordante che nel Pleistocene inferiore ha portato alla deposizione dei membri basali della *formazione di Monte Mario* (*Limi di Farneto*, *Sabbie grigie ad A. islandica* e *Sabbie gialle con panchina*).

Un successivo abbassamento relativo del livello del mare è stato registrato nella successione di Monte Mario dalla sedimentazione delle *Sabbie gialle con intercalazioni limose*. Il contatto erosivo tra quest'ultime e il sottostante membro delle *Sabbie gialle con panchina*, osservato tra l'imbocco intermedio e l'imbocco Fani della carreggiata esterna (progressiva 1253 m, fig. 9) rappresenta un limite di sequenza (SB), che delimita verso il basso una seconda sequenza deposizionale. Le *Sabbie gialle con intercalazioni limose* costituiscono il deposito legato alla fase di abbassamento relativo del livello del mare e sono caratterizzate dalla presenza di ostracofaune oligoaline nelle intercalazioni limose.

In questa seconda sequenza deposizionale, il massimo approfondimento marino si registra con la sedimentazione della porzione basale delle *Argille, limi e sabbie con Cerastoderma*. Questa mostra la presenza di ricche associazioni a nannofossili calcarei (caratterizzate da *medium Gephyrocapsa*), foraminiferi, molluschi ed ostracofaune marine, e rappresenta la TST della seconda sequenza deposizionale santerniana della successione di Monte Mario.

Con la deposizione della porzione superiore di questo membro (limi e sabbie con *Cerastoderma*), che costituisce l'HST della sequenza, il sistema deposizionale va in regressione e termina la sedimentazione marina pleistocenica nel settore di M. Mario - M.ti della Farnesina.

Lo studio paleomagnetico condotto sui depositi plio-pleistocenici della sezione di Monte Mario ha permesso di definire per la prima volta, i caratteri paleomagnetici delle successioni sedimentarie in corrispondenza della discordanza angolare che



costituisce l'elemento stratigrafico principale dell'area di Monte Mario. I campioni esaminati nei *Limi di Farneto* e nelle "Marne Vaticane" *Auct.* mostrano componenti a polarità inversa ben definite.

Le polarità inverse riconosciute in questo lavoro, sono state attribuite, sulla base dei dati biostratigrafici, all'epoca MATUYAMA per i *Limi di Farneto* ed alla parte superiore dell'epoca GILBERT per le "Marne Vaticane" *Auct.*

In conclusione, le osservazioni di terreno unitamente alle analisi di laboratorio effettuate sui campioni prelevati durante le diverse fasi di scavo della galleria "Giovanni XXIII" hanno consentito di elaborare una serie di considerazioni sull'evoluzione stratigrafico-sequenziale, sul significato paleoecologico e paleoambientale della successione plio-pleistocenica affiorante in riva destra del Tevere, nel settore M. Mario-M.ti della Farnesina, e di definire la sua evoluzione tettonica.

In particolare, le principali conclusioni derivanti dal presente studio possono essere riassunte nei seguenti punti:

- 1 - I dati e le osservazioni acquisiti nel corso dei lavori di scavo hanno permesso di caratterizzare meglio, dal punto di vista litostratigrafico, la successione plio-pleistocenica affiorante a M. Mario e sui M.ti della Farnesina. Questa è stata suddivisa in due formazioni: la *formazione di Monte Vaticano* e la *formazione di Monte Mario*. In quest'ultima sono stati distinti cinque membri, che dal basso verso l'alto sono: a) *Limi di Farneto*, b) *Sabbie grigie ad A. islandica*, c) *Sabbie gialle con panchina*, d) *Sabbie gialle con intercalazioni limose*, e) *Argille, sabbie e limi con Cerastoderma*.
- 2 - L'analisi stratigrafico-paleontologica condotta sulla successione attraversata dalla galleria "Giovanni XXIII" ha permesso di confermare il carattere discordante del limite tra la *formazione di Monte Vaticano* e la *formazione di Monte Mario*, così come segnalato da vari Autori (PONZI, 1872; BLANC, 1942; AMBROSETTI & BONADONNA, 1967; BONADONNA, 1968; CONATO *et alii*, 1980; MARRA, 1993; MARRA *et alii*, 1995) e recentemente messo in discussione da BERGAMIN *et alii* (2000). L'evidente troncatura erosiva osservata al top della *formazione di Monte Vaticano* suggerisce la presenza di un'ampia lacuna stratigrafica erosivo-deposizionale, tra queste e i soprastanti depositi della *formazione di Monte Mario*.
- 3 - Le osservazioni effettuate sui fronti di scavo delle gallerie naturali e artificiali hanno permesso di individuare due livelli distinti ad *A. islandica*, uno alla base dei *Limi di Farneto* e uno alla base delle *Sabbie grigie ad A. islandica*.
- 4 - La base dei *Limi di Farneto* corrisponde ad una superficie di trasgressione, caratterizzata da accumuli di gusci di molluschi (tra cui *A. islandica*) e abbondanti granuli di glauconie (*ravinement surface*).
- 5 - Le analisi biostratigrafiche e paleoecologiche mettono in evidenza differenze sostanziali tra le argille della *formazione di Monte Vaticano* ed i *Limi di Farneto*. Le facies della *formazione di Monte Vaticano* hanno fornito associazioni di plancton calcareo riferibili allo Zancleano superiore. L'analisi paleoecologica condotta sui foraminiferi e sulle ostracofaune indica, per le argille della *formazione di Monte Vaticano* un ambiente batiale superiore, con paleoprofondità comprese tra -300 e -350 m. L'analisi paleoecologica dell'orizzonte basale dei *limi di Farneto* ha fornito indicazioni di un ambiente infralitorale esterno, con paleoprofondità di circa -40 m e un abbassamento relativo del livello del mare di almeno 260 m rispetto alle sottostanti "Marne Vaticane" *Auct.*
- 6 - I *Limi di Farneto* corrispondono alla TST della sequenza basale del Santerniano affiorante ai M.ti della Farnesina, mentre le *Sabbie grigie ad A. islandica* e le *Sabbie gialle con panchina* ne caratterizzano l'HST. Le soprastanti *Sabbie gialle con intercalazioni limose* e le *Argille, sabbie e limi con Cerastoderma* costituiscono una seconda sequenza deposizionale che registra una successiva fase di trasgressione marina, sempre all'interno del Santerniano.
- 7 - Le analisi micropaleontologiche effettuate sui campioni prelevati dalla *formazione di Monte Mario*, per la presenza di *Bulimina etnea* e di *medium Gephyrocapsa* fin dalla base dei *Limi di Farneto*, consentono di collocare la trasgressione pleistocenica dell'area romana al Santerniano superiore.
- 8 - La strutturazione dell'alto di Monte Mario avviene in due fasi tettoniche distinte: la prima fase con direzione di estensione orientata NW-SE, ha interessato solo la *formazione di Monte Vaticano* e si può collocare tra lo Zancleano superiore e prima del Santerniano superiore. La seconda fase ha interessato anche la *formazione di Monte Mario* lungo piani orientati NW-SE ed è riferibile temporalmente ad un intervallo compreso tra 750 ka e 600 Ka.
- 9 - La trasgressione della *formazione di Monte Mario* sulla *formazione di Monte Vaticano* avviene su un substrato pliocenico fortemente disarticolato da sistemi di faglie estensionali.



10 - I risultati ottenuti hanno permesso di definire, per la prima volta, i caratteri paleomagnetici delle successioni sedimentarie in corrispondenza della discordanza angolare che costituisce l'elemento stratigrafico principale dell'area di Monte Mario. I campioni esaminati nelle *Argille, limi e sabbie con*

*Cerastoderma*, nei *Limi di Farneto* e nelle "Marne Vaticane" *Auct.* mostrano componenti di polarità inversa ben definite, attribuite, sulla base dei dati biostratigrafici, all'epoca MATUYAMA, per i primi due membri, ed alla parte superiore dell'epoca GILBERT, per le "Marne Vaticane" *Auct.*

## RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano l'Astaldi SpA per aver reso possibile questo studio, consentendo l'accesso nelle aree di cantiere durante la realizzazione della galleria Giovanni XXIII. Un particolare ringraziamento va all'Ing. Francesco Maria ROTUNDI e al Dr. Stefano MORETTI per la loro preziosa disponibilità. Lo studio è stato svolto nell'ambito di un contratto di collaborazione tra l'Astaldi SpA e il Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università degli Studi Roma Tre.

## BIBLIOGRAFIA

- AIELLO G., BARRA D. & BONADUCE G. (2000) - *Systematic and biostratigraphy of the ostracoda of the Plio-Pleistocene Monte S. Nicola section (Gela, Sicily)*. Boll. Soc. Paleont. It., **39**(1): 83-112.
- ACOCCELLA V. (2000) *Space accommodation by roof lifting during pluton emplacement at Amiata (Italy)*. Terra Nova, **12**: 149-155.
- ALFONSI L., FUNICIELLO R., MATTEI M., GIROTTI O., MAIORANI A., PREITE MARTINEZ M., TRUDU C. & TURI B. (1991) - *Structural And Geochemical Features Of The Sabina Strikeslip Fault (Central Apennines)*. Boll. Soc. Geol. It., **110**: 217-230.
- AMBROSETTI P. & BONADONNA F.P. (1967) - *Revisione dei dati sul Plio-Pleistocene di Roma*. Atti della Accademia Gioenia di Scienze Naturali in Catania, **18**: 33-81.
- ARIAS C., AZZAROLI A., BIGAZZI G. & BONADONNA F.P. (1980) - *Magnetostratigraphy and Pliocene-Pleistocene boundary in Italy*. Quaternary Research, **13**: 65-74.
- ARIAS C., BIGAZZI G., BONADONNA F.P., IACCARINO S., URBAN B., DAL MOLIN M., DAL MONTE L. & MARTOLIN M. (1990) - *Valle Ricca Late Neogene stratigraphy (Lazio region, central Italy)*. Paleobiolog. Continentale, **17**: 61-68.
- BARRA D., BONADUCE G. & SGARRELLA F. (1998) - *Paleoenvironmental bottom water conditions in the early Zanclean of the Capo Rossello area (Agrigento, Sicily)*. Boll. Soc. Paleont. It., **37**(1): 61-88.
- BELLOTTI P., CHIOCCHINI U., CASTORINA F. & TOLOMEIO L. (1994) - *Le unità clastiche plio-pleistoceniche tra Monte Mario (Città di Roma) e la costa tirrenica presso Focene: alcune osservazioni sulla stratigrafia sequenziale*. Boll. Serv. Geol. d'It., **113**: 3-24. Roma
- BERGAMIN L., CARBONI M.G., DI BELLA L., MARRA F. & PALAGI I. (2000) - *Stratigraphical and paleoenvironmental features of the Pleistocene sediments of M. Mario (Rome)*. Eclogae Geologicae Helvetiae, **93**: 265-275.
- BLANC A.C. (1942) - *Variazioni climatiche ed oscillazioni della linea di riva nel Mediterraneo centrale durante l'Era Glaciale*. Geologie d. Meere u. Binnengewässer, **5**: 137-219.
- BLANC A.C. (1955) - *Ricerche sul Quaternario Laziale. III - Avifauna artica, crioturbarzioni e testimonianze di soliflussi nel Pleistocene medio-superiore di Roma e di Torre in Pietra. Il periodo glaciale Nomentano nel quadro della serie di glaciazioni riconosciute nel Lazio*. Quaternaria, **2**: 187-200.
- BLANC A.C., TONGIORGI E. & TREVISAN L. (1953) - *La limite Pliocene et le Quaternarie aux alentours del Rome*. INQUA.
- BLANC A.C., TONGIORGI E. & TREVISAN L. (1954) - *La limite Plio-Pleistocene et le dans la coupe de Monte Mario (environ de Rome)*. C.R. XIX Congr. Geol. Intern., 1952, Algeri.
- BONADONNA F.P. (1968) - *Studi sul Pleistocene del Lazio. V - La biostratigrafia di Monte Mario e la "Fauna Malacologica Mariana" di Cerulli Irelli*. Memorie della Società Geologica Italiana, **7**: 261-321.
- BONADUCE G., BARRA D. & AIELLO G. (1999) - *The genus Henrybowella Puri, 1957 (Crustacea, Ostracoda) in the Atlantic and Mediterranean from Miocene to Recent*. Boll. Soc. Paleont. It., **38**(1): 59-72.
- BORZI M., CARBONI M.G., CILENTO G., DI BELLA L., FLORINDO F., GIROTTI O., PICCARDI E. & SAGNOTTI L. (1998) - *Bio- and magneto-stratigraphy in the Tiber Valley revised*. Quaternary International, **47/48**: 65-72.
- BROCCHI G. (1820) - *Dello stato fisico del suolo di Roma ed illustrazione della carta geognostica di questa città*. Stamperia de Romanis, 281 pp., 1 carta geologica.
- CAMELI G.M. & PIERETTI G. (1974) - *Saggio geoelettrico della zona i Baccano-Cesano (M.Sabatini)*. ENEL relazione interna T3/113.
- CANDE S.C. & KENT D.V., (1995) - *Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic*. J. Geophys. Res. **100**: 6093-6095.
- CAPPELLI G.B. (1905) - *Contributo allo studio degli ostracodi fossili dello strato a sabbie grigie della Farnesina presso Roma*. Boll. Soc. Geol. It., **24**: 303-342.
- CARBONI M.G., DI BELLA L. & GIROTTI O. (1993) - *Nuovi dati sul Pleistocene di Valle Ricca (Monterotondo, Roma)*. Il Quaternario, **6**: 39-48.
- CARBONI M. G. & DI BELLA L. (1997) - *The Plio-Pleistocene of the Anzio coast (Rome)*. Bollettino della Società Paleontologica Italiana, **36** (1-2): 135-159.
- CERULLI IRELLI S. (1907-1916) - *Fauna Malacologia mariana*. Palaeontografia Italiana. Voll 13,14,15,16,17,18,20,22.
- CIFELLI F., ROSSETTI F., MATTEI M., HIRT A., FUNICIELLO R. & TORTORICI L. (2004) - *An AMS, structural and paleomagnetic study of quaternary deformation in eastern Sicily*. J. Struct. Geol., **26**: 29-46.
- CITA M.B. (1975) - *The Miocene/Pliocene boundary: history and definition*. In: T. SAITO AND L.H. BURCKLE, Editors, Late Neogene Epoch Boundaries, Micropaleontol. Press, New

- York, pp. 1-30
- CITA M. B. & CASTRADORI D. (1995) - *Rapporto sul workshop "Marine sections from the gulf of Taranto (Southern Italy) usable as potential stratotypes for the G.SSP of the Lower, Middle and Upper Pleistocene"* (29 Settembre- 4 Ottobre 1994). *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **114**: 319-336.
- CITA M.B., RIO D., HILGEN F., CASTRADORI D., LOURENS L. & VERGERIO P.P. (1996) - *Proposal of the Global Boundary Stratotype Section and Point of the Piacenzian stage (middle Pliocene)*. Inter. Comm. On Stratigr., Subcomm. On Neogene Stratigraphy.
- CONATO V., ESU D., MALATESTA A. & ZARLENGA F. (1980). *New data on the Pleistocene of Rome*. *Quaternaria*, **22**: 131-176.
- COSENTINO D., CIPOLLARI P., DI BELLA L., ESPOSITO A., FARANDA C., GIORDANO G., MATTEI M., MAZZINI I., PORRECA M. & FUNICIELLO R. (in stampa) - *The historical site of the Monte Mario Lower Pleistocene succession revisited: tectonics, sea-level changes and palaeoenvironments in the early Pleistocene of Rome (Italy)*. *Quaternary Research*, in stampa.
- COSENTINO D., FEDERICI I., CIPOLLARI P. & GLIOZZI E. (2006) - *Environments and tectonic instability in central Italy (Garigliano Basin) during the late Messinian Lago-Mare episode: new data from the onshore Mondragone 1 well*. *Sedimentary Geology*, **188-189**: 297-317.
- DE RITA D., BERTAGNINI A., CARBONI M.F., CICCACCI S., DI FILIPPO M., FACCENNA C., FREDI P., FUNICIELLO R., LANDI P., SCIACCA P., VANNUCCI N. & ZARLENGA F. (1994) - *Geological Petrological Evolution Of The Ceriti Mountains Area (Latium Italy)*. *Mem. Descr. Carta Geol. It.*, **49**: 291-232.
- DE RITA D., BERTAGNINI A., FACCENNA C., LANDI P., ROSA C., DI FILIPPO M. & CARBONI M.F. (1997) - *Evoluzione geopetrografica-strutturale dell'area tolfaiana*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **116**: 143-175.
- DI FILIPPO M. & TORO B. (1980) - *Analisi gravimetrica delle strutture del Lazio meridionale*. *Geologica Romana*, **19**: 285-294.
- DODD J.R. & STANTON R.J. (1990) - *Paleoecology. Concepts and applications*. Wiley-Interscience Publication, Wiley & Sons, New York, 502 pp.
- FACCENNA C. & FUNICIELLO R. (1993) - *Tettonica pleistocenica tra il M. Soratte ed i Monti Comicolani (Lazio)*. *Il Quaternario*, **6** (1): 103-118.
- FACCENNA C., FUNICIELLO R., BRUNI A., MATTEI M. & SAGNOTTI L. (1994b) - *Evolution of a transfer-related basin: The Ardea Basin (Latium, central Italy)*. *Basin Research*, **6**: 35-46.
- FACCENNA C., FUNICIELLO R. & MATTEI M. (1994a) - *Late Pleistocene N-S shear zones along the Latium Tyrrhenian margin; structural characters and volcanological implications*. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, **36**: 507-522.
- FARANDA C., GLIOZZI E. & MAZZINI I. (2007) - *Palaeoenvironmental evolution of the Plio-Pleistocene Monte Mario succession (Rome, Italy) inferred from ostracod assemblages*. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, **113**: 473-485.
- FIORINI F. & VAIANI S.C. (2001) - *Benthic foraminifer and transgressive-regressive cycles in the Late Quaternary subsurface sediments of the Po Plain near Ravenna (Northern Italy)*. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, **40** (3): 357-403.
- FLORINDO F. & SAGNOTTI L. (1995) - *Palaeomagnetism and rock magnetism in the upper Pliocene Valle Ricca (Rome, Italy) section*. *Geophysic. J. Int.*, **123**: 340-354.
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (ed) (2005). *Carta Geologica di Roma*, vol 1. Comune di Roma-APAT-DSG UniRoma3.
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (in stampa). *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia*. Servizio Geologico Nazionale
- FUNICIELLO R., MARIOTTI G., PAROTTO M., PREITE-MARTINEZ M., TECCE F., TONEATTI A. & TURI B. (1979) - *Geology, mineralogy and stable isotope geochemistry of Cesano geothermal field (Sabatini Mts)*. *Geothermics*, **8**: 55-73.
- FUNICIELLO R. & PAROTTO M. (1978) - *Il substrato sedimentario nell'area dei Colli Albani: considerazioni geodinamiche e paleogeografiche sul margine tirrenico dell'Appennino centrale*. *Geologica Romana*, **17**: 233-287.
- FUNICIELLO R., LOCARDI E. & PAROTTO M. (1978) - *Lineamenti geologici dell'area sabatina orientale*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **95**: 831-849.
- GIORDANO G., ESPOSITO A., DE RITA D., FABBRI M., MAZZINI I., TRIGARI A., ROSA C. & FUNICIELLO R. (2003) - *The sedimentation along the Roman coast between Middle and Upper Pleistocene: The interplay of eustatism, tectonics and volcanism - New data and review*. *Italian Journal of Quaternary Sciences, Spec. Vol Inqua*, **16(1bis)**: 121-129.
- HAMMER Ø., HARPER D.A.T. & RYAN P.D. (2003) - *Past-PALaeontological Statistics*, ver. 1.06.
- IACCARINO S. (1985) - *Mediterranean Miocene and Pliocene planktic foraminifera*. In: BOLLI H. H., SANDERS J. B. & PERCK-NIELSEN K.(Eds.), "Plankton Stratigraphy", 283-314.
- JORISSEN F.J. (1988) - *Benthic foraminifera from the Adriatic Sea; principles of phenotypic variations*. *Utrecht Micropaleontological Bulletin*, **37**: 1-174.
- KARNER D.B. & RENNE P.R. (1998) - *39 Ar/40Ar geochronology of Roman volcanic province tephra in the Tiber river valley : age calibration of Middle Pleistocene sea-level changes*. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **110**: 740-747.
- LACHENAL A.M. (1989) - *Écologie des ostracodes du domaine Méditerranéen: application au Golfe de Gabès (Tunisie orientale). Les variations du niveau marin depuis 30.000 ans*. *Doc. Lab. Géol. Lyon*, **108**: 1-239.
- MALTMAN A.J. (1994) - *Prelithification Deformation*. In Hancock P. (Ed), *Continental Deformation*. Pergamon Press, 143-158
- MARRA F. (1993) - *Stratigrafia e assetto geologico-strutturale dell'area romana tra il Tevere e il Rio Galeria*. *Geologica Romana*, **29**: 515-535.
- MARRA F. & ROSA C. (1995) - *Stratigrafia e assetto geologico dell'area romana*. In: *La Geologia di Roma*. *Mem. Descr. Carta Geol. d'It.*, **50**: 50-118.
- MARRA F., CARBONI M.G., DI BELLA L., FACCENNA C., FUNICIELLO R. & ROSA C. (1995) - *Il substrato plio-pleistocenico nell'area romana*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **114**: 195-214.
- MARRA F., FLORINDO F. & KARNER D.B. (1998) - *Paleomagnetism and geochronology of early Middle Pleistocene depositional sequences near Rome: comparison with the deep-sea d<sup>18</sup>O record*. *Earth and Planetary Science Letters*, **159**: 147-164.
- MATTEI M., SAGNOTTI L., FACCENNA C. & FUNICIELLO R. (1997) - *Magnetic fabric of weakly deformed clay-rich sediments in the Italian peninsula: Relationship with compressional and extensional tectonics*. *Tectonophysics*, **271**: 107-122.
- MATTEI M., SPERANZA F., ARGENTIERI A., ROSSETI F., SAGNOTTI L. & FUNICIELLO R. (1999) - *Extensional tectonics in the Amantea basin (Calabria, Italy): a comparison between structural and magnetic anisotropy data*. *Tectonophysics*, **307**: 33-49.
- MEISCH C. (2000) - *Freshwater ostracoda of western and central Europe*. In: SCHWOERBEL J. E ZWICK P. (Eds.), *Suesswasserfauna von Mitteleuropa*, **8/3**, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1-522.





- MILLI S. (1997) – *Depositional setting and high-frequency sequence stratigraphy of the middle-upper Pleistocene to Holocene deposits of the Roman Basin*. *Geologica Romana*, **33**: 99-136.
- MURRAY J.W. (1991) - Ecology and paleoecology of benthic foraminifera, 397 pp., Longman Scientific & Technical.
- NAMIAS I. (1900) - *Ostracodi fossili della Farnesina e Monte Mario presso Roma*. *Paleontographia Italica*, **6**: 79-118.
- NEALE J.V. (1988) - *Ostracodes and paleosalinity reconstruction*. In: P. DE DECKKER, J.-P. COLIN & J.-P. PEYPOUQUET, *Ostracoda in the Earth Science*, 125-155, Elsevier.
- PONZI G. (1872) - *Del bacino di Roma e sua natura*. Regia Tipografia, 51 pp., 1 carta geologica.
- PONZI G. (1875) - *Dei Monti Mario e Vaticano e del loro sollevamento*. *Atti R. Acc. Lincei*, 2 Roma.
- PORTIS A. (1893) - *Studi sopra l'estensione da darsi al Pliocene Superiore*. *Storia fisica del Bacino di Roma* 1-259
- RAFFI I. (2002) - *Revision of the early-middle Pleistocene calcareous nanofossil biochronology (1.75-0.85 Ma)*. *Marine Micropaleontology*, **45**: 25-55.
- RIO D., RAFFI I. & VILLA G. (1990) - *Pliocene-Pleistocene calcareous nanofossil distribution in the western Mediterranean*. In: KASTENS K.A., MASCLE J. et alii (Eds.), *Proceedings of ODP, Scientific Results*, **107**: 513-533.
- RIO D., SPROVIERI R. & DI STEFANO E. (1994) - *The Gelasian Stage: a proposal of a new Chronostratigraphic unit of the Pliocene series*. *Rivista Italiana di Paleontologia Stratigrafica*, **100** (1): 103-124.
- SAGNOTTI L., FACCENNA C., FUNICIELLO R. & MATTEI M. (1994) - *Magnetic fabric and structural setting of Plio-Pleistocene clay units in an extensional regime: the Tyrrhenian margin of central Italy*. *J. Struct. Geol.*, **16**: 1243-1257.
- SGARRELLA F. & MONCHARMONT-ZEI M. (1993) - *Benthic Foraminifera of the Gulf of Naples (Italy): systematics and autoecology*. *Boll. Società Paleontologica Italiana*, **32** (2): 145-264.
- SIGNORINI R. (1939) - *Risultati geologici della perforazione eseguita dall'Agip alla mostra antarchica del minerale nel Circo Massimo di Roma*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **58**: 60-63
- SPROVIERI R. (1992) - *Mediterranean Pliocene biochronology: a high resolution record based on quantitative planktonic foraminifera distribution*. *Riv. Ital. Paleontol. Stratigr.*, **98**: 61-100.
- SPROVIERI R. (1993) - *Pliocene-early Pleistocene astronomically forced planktonic foraminifera abundance fluctuations and chronology of Mediterranean calcareous plankton bio-events*. *Riv. Ital. Paleontol. Stratigr.*, **99**: 371-414.
- TARLING D.H. & HROUDA F. (1993) - *The Magnetic Anisotropy of Rocks*. Chapman & Hall, London, 217 pp.
- TELLINI A. (1893) - *Carta Geologica dei dintorni di Roma. Regione alla destra del Tevere*. Cromolit. Danesi, Roma.
- TERRIGI G. (1880) - *Fauna Vaticana a foraminiferi delle Sabbie Gialle nel Pliocene Subapennino Superiore*. Estratto dagli "Atti dell'Accademia Pontifica de Nuov Lincei". Roma. 4to. Pp. 97, 78 figs. of foraminifera on 4 tinted lithogr. pls.
- TORO B. (1978) - *Anomalie residue di velocità e strutture profonde nelle aree vulcaniche del Lazio settentrionale*. *Geologica Romana*, **17**: 35-44.
- VALENTINE J.V. (1971) - *Resource supply and species diversity patterns*. *Lethaia*, **4**: 51-61.
- VERRI A. (1915) - *Cenni spiegativi della Carta Geologica di Roma pubblicata dal R. Uff. Geologico su rilevamento del generale A. Verri*. Novara, Ist. Geogr. De Agostini, Novara, pp 156.
- ZIJDERVELD J.D.A. (1967) - *AC demagnetization of rocks: analysis of results*. In: *Methods of Palaeomagnetism*, edited by S. K. RUNCORN, K., M. CREER, & D.W. COLLINSON, 254-286, Elsevier, Amsterdam.